

# PATENT COOPERATION TREATY

EO/US  
PCT/JP98/05311

## PCT

### NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

United States Patent and Trademark  
Office  
(Box PCT)  
Crystal Plaza 2  
Washington, DC 20231  
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing: <p style="text-align: center;">03 June 1999 (03.06.99)</p>	
International application No.: <p style="text-align: center;">PCT/JP98/05311</p>	Applicant's or agent's file reference: <p style="text-align: center;">C98-S-138CT1</p>
International filing date: <p style="text-align: center;">25 November 1998 (25.11.98)</p>	Priority date: <p style="text-align: center;">26 November 1997 (26.11.97)</p>
Applicant: <p style="text-align: center;">IMAMURA, Kazuo et al</p>	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International preliminary Examining Authority on:  

20 April 1999 (20.04.99)

☐ in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:  

\_\_\_\_\_

2. The election ☒ was

☐ was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland  Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Authorized officer:  <p style="text-align: center;">J. Zahra</p> Telephone No.: (41-22) 338.83.38
---	---



4T  
09/534579  
2877  
Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference C98-S-138CT1	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/JP98/05311	International filing date (day/month/year) 25 November 1998 (25.11.98)	Priority date (day/month/year) 26 November 1997 (26.11.97)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G02B 6/10, 5/18		
Applicant MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.		

<p>1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.</p> <p>2. This REPORT consists of a total of <u>4</u> sheets, including this cover sheet.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).</p> <p>These annexes consist of a total of <u>8</u> sheets.</p>	
<p>3. This report contains indications relating to the following items:</p> <p>I <input checked="" type="checkbox"/> Basis of the report</p> <p>II <input type="checkbox"/> Priority</p> <p>III <input type="checkbox"/> Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability</p> <p>IV <input type="checkbox"/> Lack of unity of invention</p> <p>V <input checked="" type="checkbox"/> Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability, citations and explanations supporting such statement</p> <p>VI <input checked="" type="checkbox"/> Certain documents cited</p> <p>VII <input type="checkbox"/> Certain defects in the international application</p> <p>VIII <input type="checkbox"/> Certain observations on the international application</p>	

RECEIVED  
JUG 14 2000  
TC 2100 MAIL ROOM

Date of submission of the demand 20 April 1999 (20.04.99)	Date of completion of this report 11 January 2000 (11.01.2000)
Name and mailing address of the IPEA/JP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.



## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP98/05311

## I. Basis of the report

1. With regard to the **elements** of the international application:\*

- ☐ the international application as originally filed
- ☒ the description:  
pages 1-41, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☒ the claims:  
pages 1-5,8,12,16,18, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement under Article 19  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages 6-7,9-11,13,15,17,19-20, filed with the letter of 21 September 1999 (21.09.1999)
- ☒ the drawings:  
pages 1-20, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing part of the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

2. With regard to the **language**, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language \_\_\_\_\_ which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☒ the claims, Nos. 14
- ☐ the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).\*\*

\* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rule 70.16 and 70.17).

\*\* Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.



## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP98/05311

**V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement****1. Statement**

Novelty (N)	Claims	1-13,15-20	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-13,15-20	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-13,15-20	YES
	Claims		NO

**2. Citations and explanations****Claims 1-8, 11-13, 20**

There are no disclosures or suggestions in any of the documents cited in the ISR concerning, in the case of the method whereby a grating is formed inside the core of an optical fiber by irradiating the core with ultraviolet rays from outside the resin covering layer, the point whereby a curable resin is used for the aforementioned covering layer, where said resin is cured when it absorbs ultraviolet rays of wavelength different to those used in forming the aforementioned grating.

**Claims 9, 10**

There are no disclosures or suggestions in any of the documents cited in the ISR concerning, in the case of the method whereby a grating is formed inside the core of an optical fiber by irradiating the core with ultraviolet rays from outside the covering layer formed from an ultraviolet-ray-transmitting resin, the point whereby the optical configuration disclosed in claims 9 and 10 is adopted.

**Claims 15-18**

There are no disclosures in any of the documents cited in the ISR concerning, in the case of the device and method for manufacturing a fiber grating, the point whereby a setup is adopted such that the manufacture of the fiber grating and the screening tests on the fiber grating can be carried out at the same time.

**Claim 19**

There are no disclosures in any of the documents cited in the ISR concerning the fiber grating manufacturing device disclosed in claim 19.





# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP98/05311

## VI. Certain documents cited

### 1. Certain published documents (Rule 70.10)

<u>Application No. Patent No.</u>	<u>Publication date (day/month/year)</u>	<u>Filing date (day/month/year)</u>	<u>Priority date (valid claim) (day/month/year)</u>
JP,10-82919,A[E,X]	31 March 1998 (31.03.1998)	15 July 1997 (15.07.1997)	15 July 1996 (15.07.1996)
JP,10-123338,A[E,X]	15 May 1998 (15.05.1998)	30 September 1997 (30.09.1997)	11 October 1996 (11.10.1996)
JP,11-160554,A[E,X]	18 June 1999 (18.06.1999)	26 November 1997 (26.11.1997)	
US,5745617,A[E,X]	28 April 1998 (28.04.1998)	30 December 1996 (30.12.1996)	

### 2. Non-written disclosures (Rule 70.9)

<u>Kind of non-written disclosure</u>	<u>Date of non-written disclosure (day/month/year)</u>	<u>Date of written disclosure referring to non-written disclosure (day/month/year)</u>



E P



P C T

国際調査報告

(法 8 条、法施行規則第40、41条)  
〔P C T 1 8 条、P C T 規則43、44〕

出願人又は代理人 の書類記号 C-98-S-138-CT1	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(P C T / I S A / 2 2 0) 及び下記 5 を参照すること。	
国際出願番号 P C T / J P 9 8 / 0 5 3 1 1	国際出願日 (日.月.年) 2 5 . 1 1 . 9 8	優先日 (日.月.年) 2 6 . 1 1 . 9 7
出願人 (氏名又は名称) 三菱電線工業株式会社		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条 (P C T 1 8 条) の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 3 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

#### 1. 国際調査報告の基礎

- a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。  
☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。
- b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。  
☐ この国際出願に含まれる書面による配列表  
☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表  
☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。  
☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記録した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない (第 I 欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している (第 II 欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。  
☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。  
☐ 第 III 欄に示されているように、法施行規則第47条 (P C T 規則38.2(b)) の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から 1 カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、  
 第 1 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。 ☐ なし  
☐ 出願人は図を示さなかった。  
☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

100-100000

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G 02 B 6 / 10, G 02 B 5 / 18

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G 02 B 6 / 10, G 02 B 5 / 18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996  
 日本国公開実用新案公報 1971-1999  
 日本国登録実用新案公報 1994-1999  
 日本国実用新案登録公報 1996-1999

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 9-113741, A (エイ・ティ・アンド・ティ・コーポ レーション) 2. 5月. 1997 (02. 05. 97) 全文, 第1-2図	1, 3-8, 11, 12, 14 2, 9, 10
A	全文, 第1-2図 & EP, 762158, A1 & US, 5620495, A	

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

22. 02. 99

国際調査報告の発送日

09.03.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

股部 秀男

印

2 K

7805

電話番号 03-3581-1101 内線 3255



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P, 7-230015, A (古河電気工業株式会社) 29. 8月. 1995 (29. 08. 95) 【0018】 【0018】 (ファミリーなし)	1 2 2
Y	J P, 9-211245, A (住友電気工業株式会社) 15. 8月. 1997 (15. 08. 97) 【0042】 (ファミリーなし)	3
Y	J P, 9-288205, A (株式会社フジクラ) 4. 11月. 1997 (04. 11. 97) 【0012】 & EP, 805365, A2 & CA, 2202308, A	5
PY	J P, 10-82919, A (住友電気工業株式会社) 31. 3月. 1998 (31. 03. 98) 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1, 3-8, 11, 12, 14
Y A	J P, 6-501783, A (ブリテイッシュ・テレコミュニケーションズ・パブリック・リミテッド・カンパニー) 24. 2月. 1994 (24. 02. 94) 全文, 第1-3図 全文, 第1-3図 & WO, 9208999, A1 & EP, 556247, A1 & US, 5384884, A	13, 14, 17, 18 15, 16, 19
Y A	J P, 8-286056, A (住友電気工業株式会社) 1. 11月. 1996 (01. 11. 96) 全文, 第1-3図 全文, 第1-3図 (ファミリーなし)	13, 14, 17, 18 15, 16, 19





PCT

国際予備審査報告

(法第12条、法施行規則第56条)

[PCT36条及びPCT規則70]

出願人又は代理人 の書類記号 C98-S-138CT1	今後の手続きについては、国際予備審査報告の送付通知(様式PCT/ IPEA/416)を参照すること。		
国際出願番号 PCT/J P98/05311	国際出願日 (日.月.年) 25.11.98	優先日 (日.月.年) 26.11.97	
国際特許分類(IPC) Int. Cl <sup>7</sup> G02B 6/10, 5/18			
出願人(氏名又は名称) 三菱電線工業株式会社			

- 国際予備審査機関が作成したこの国際予備審査報告を法施行規則第57条(PCT36条)の規定に従い送付する。
- この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 4 ページからなる。  
☒ この国際予備審査報告には、附属書類、つまり補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関に対してした訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面も添付されている。  
(PCT規則70.16及びPCT実施細則第607号参照)  
この附属書類は、全部で 8 ページである。

- この国際予備審査報告は、次の内容を含む。
  - ☒ 国際予備審査報告の基礎
  - ☐ 優先権
  - ☐ 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成
  - ☐ 発明の単一性の欠如
  - ☒ PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
  - ☒ ある種の引用文献
  - ☐ 国際出願の不備
  - ☐ 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 20.04.99	国際予備審査報告を作成した日 11.01.00		
名称及びあて先 日本国特許庁(IPEA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員) 福田 聡	2K	9514
電話番号 03-3581-1101 内線 3253			



## I. 国際予備審査報告の基礎

1. この国際予備審査報告は下記の出願書類に基づいて作成された。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に  
 応答するために提出された差し替え用紙は、この報告書において「出願時」とし、本報告書には添付しない。  
 PCT規則70.16, 70.17)

☐ 出願時の国際出願書類

☒ 明細書 第 1-41 ページ、 出願時に提出されたもの  
 明細書 第 ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 明細書 第 ページ、 付の書簡と共に提出されたもの

☒ 請求の範囲 第 1-5, 8, 12, 16, 18 項、 出願時に提出されたもの  
 請求の範囲 第 項、 PCT19条の規定に基づき補正されたもの  
 請求の範囲 第 項、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 請求の範囲 第 6-7, 9-11, 13, 15, 17, 19-20 項、 21.09.99 付の書簡と共に提出されたもの

☒ 図面 第 1-20 ページ/図、 出願時に提出されたもの  
 図面 第 ページ/図、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 図面 第 ページ/図、 付の書簡と共に提出されたもの

☐ 明細書の配列表の部分 第 ページ、 出願時に提出されたもの  
 明細書の配列表の部分 第 ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 明細書の配列表の部分 第 ページ、 付の書簡と共に提出されたもの

2. 上記の出願書類の言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願の言語である。

上記の書類は、下記の言語である \_\_\_\_\_ 語である。

- ☐ 国際調査のために提出されたPCT規則23.1(b)にいう翻訳文の言語  
☐ PCT規則48.3(b)にいう国際公開の言語  
☐ 国際予備審査のために提出されたPCT規則55.2または55.3にいう翻訳文の言語

3. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際予備審査報告を行った。

- ☐ この国際出願に含まれる書面による配列表  
☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された書面による配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった  
☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

4. 補正により、下記の書類が削除された。

☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ  
☒ 請求の範囲 第 14 項  
☐ 図面 図面の第 \_\_\_\_\_ ページ/図

5. ☐ この国際予備審査報告は、補充欄に示したように、補正が出願時における開示の範囲を越えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c) この補正を含む差し替え用紙は上記1.における判断の際に考慮しなければならず、本報告に添付する。)



## V. 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条(PCT35条(2))に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

## 1. 見解

新規性(N)	請求の範囲	1-13, 15-20	有
	請求の範囲		無
進歩性(IS)	請求の範囲	1-13, 15-20	有
	請求の範囲		無
産業上の利用可能性(IA)	請求の範囲	1-13, 15-20	有
	請求の範囲		無

## 2. 文献及び説明(PCT規則70.7)

## 請求の範囲1-8, 11-13, 20

樹脂被覆層の外側からコアに対して紫外線を照射することによって、光ファイバのコア内にグレーティングを形成する方法において、前記被覆層として、前記グレーティングを形成する紫外線とは異なる波長域の紫外線を吸収することによって硬化する硬化型樹脂を用いる点については、国際調査において列記された文献のいずれにも、記載も示唆もされていない。

## 請求の範囲9, 10

紫外線透過型樹脂から形成された被覆層の外側からコアに対して紫外線を照射することによって、光ファイバのコア内にグレーティングを形成する方法において、上記請求の範囲に記載された光学的配置を採用する点については、国際調査において列記された文献のいずれにも、記載も示唆もされていない。

## 請求の範囲15-18

ファイバグレーティングの作製装置及び作製方法において、ファイバグレーティングの作製とファイバグレーティングのスクリーニング試験を同時に実施できるように構成する点については、国際調査において列記された文献のいずれにも記載されていない。

## 請求の範囲19

上記請求の範囲に記載のファイバグレーティングの作製装置については、国際調査において列記された文献のいずれにも記載されていない。



## VI. ある種の引用文献

## 1. ある種の公表された文書 (PCT規則70.10)

出願番号 特許番号	公知日 (日. 月. 年)	出願日 (日. 月. 年)	優先日 (有効な優先権の主張) (日. 月. 年)
JP, 10- 82919, A 「E, X」	31. 03. 98	15. 07. 97	15. 07. 96
JP, 10-123338, A 「E, X」	15. 05. 98	30. 09. 97	11. 10. 96
JP, 11-160554, A 「E, X」	18. 06. 99	26. 11. 97	
US, 5745617, A 「E, X」	28. 04. 98	30. 12. 96	

## 2. 書面による開示以外の開示 (PCT規則70.9)

書面による開示以外の開示の種類	書面による開示以外の開示の日付 (日. 月. 年)	書面による開示以外の開示に言及している 書面の日付 (日. 月. 年)
-----------------	------------------------------	--





## 請 求 の 範 囲

1. グレーティングが書き込まれたコアと、前記コアを囲むクラッドと、前記クラッドの外周面を被覆する被覆層とを備えたファイバグレーティングであって、

前記被覆層は、紫外線透過型樹脂から形成され、少なくともグレーティング書き込み用の特定波長帯の紫外線を透過し、前記特定波長帯よりも短い波長域または長い波長域の紫外線を吸収して硬化する特性を有しており、

前記グレーティングは、前記特定波長帯の紫外線を前記被覆層の外側から前記コアに対して照射することによって書き込まれたものであることを特徴とするファイバグレーティング。

2. 前記コアには、GeとSnとが共にドーピングされており、前記Geの濃度は、前記ファイバグレーティングに接続される他の光ファイバのコアに含まれるGeの濃度と実質的に同じであるクレーム1に記載のファイバグレーティング。

3. 前記被覆層の外表面を覆う2次被覆層を更に備え、

前記2次被覆層は、負の線膨張係数を有する素材により形成されているクレーム1または2に記載のファイバグレーティング。

4. 前記被覆層は、30  $\mu$ m以上の厚さを有するシングルコート膜から形成されているクレーム1に従属するファイバグレーティング。

5. 前記コアには更にAlがドーピングされているクレーム2に記載のファイバグレーティング。

6 (補正後). グレーティングが書き込まれるべきコアと、前記コアを囲むクラッドとを備えたガラスファイバ構造を作製する工程と、



前記グラスファイバ構造の外周面を紫外線透過型樹脂から形成された被覆層で覆う工程と、

第1紫外線を前記被覆層の外側から前記コアに対して照射することによってグレーティングを前記コアに書き込む工程とを包含するファイバグレーティングの作製方法であって、

前記被覆層を形成する工程は、前記第1紫外線と異なる波長の第2紫外線を照射することによって前記紫外線透過型樹脂を硬化する工程を包含することを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

7 (補正後). 前記第1紫外線の波長は250 nm～350 nmの範囲内にあることを特徴とするクレーム6に記載のファイバグレーティング作製方法。

8. 前記被覆層は、シングルコート法によって30 μmから50 μmまでの範囲内の厚さに形成するクレーム6または7に記載のファイバグレーティング作製方法。

9 (補正後). グレーティングが書き込まれるべきコアと、前記コアを囲むクラッドとを備えたグラスファイバ構造を作製する工程と、

前記グラスファイバ構造の外周面を紫外線透過型樹脂から形成された被覆層で覆う工程と、

第1紫外線を前記被覆層の外側から前記コアに対して照射することによってグレーティングを前記コアに書き込む工程とを包含するファイバグレーティングの作製方法であって、

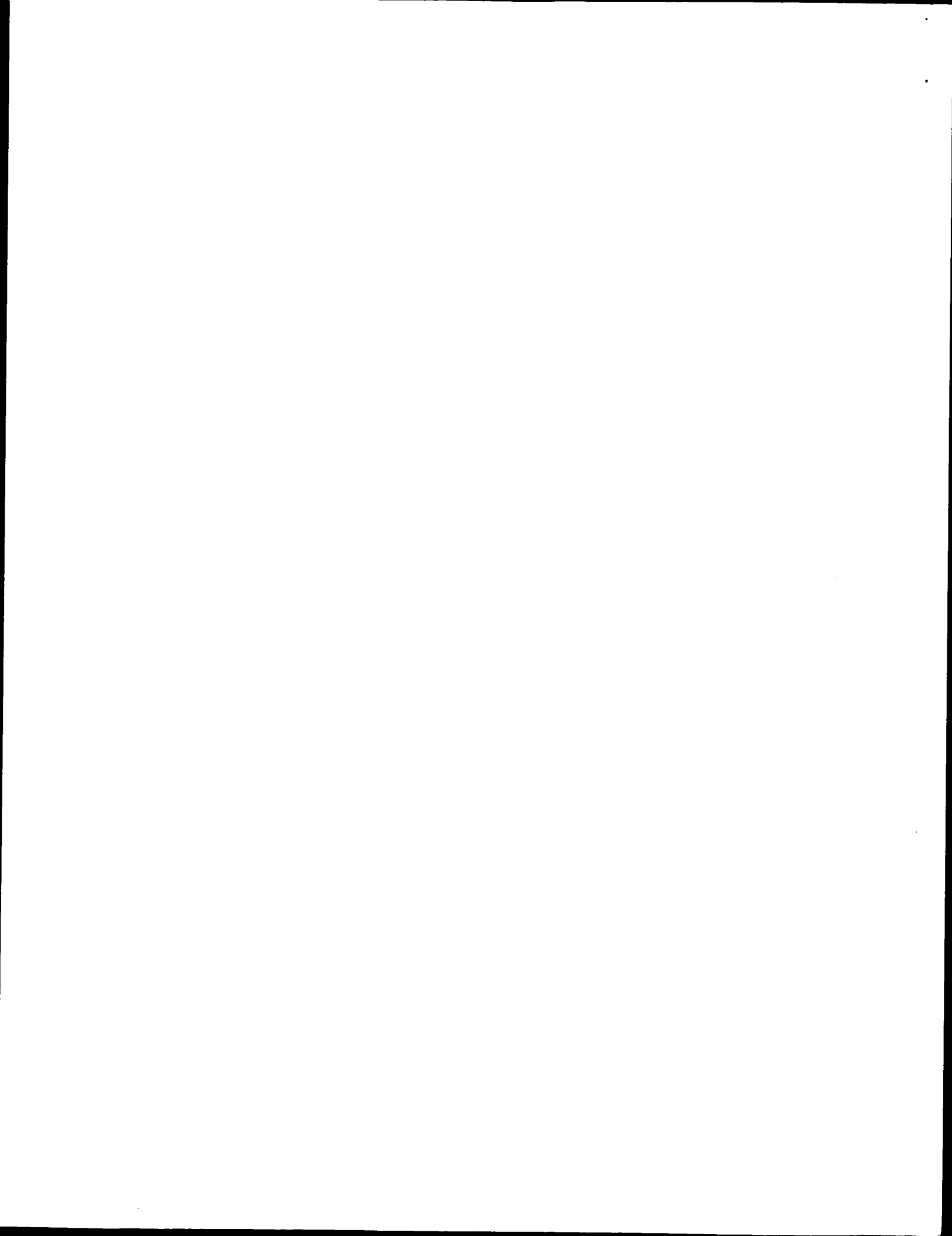
前記グレーティングの書き込み工程は、

シリンドリカルレンズと、前記シリンドリカルレンズの焦点との間の位置であって、前記シリンドリカルレンズにより前記焦点に向けて集光される紫外線のビームパターンの内部位置に、前記被覆層、クラッドおよびコアの全体が含まれるように配置する工程と、



43/1

前記シリンドリカルレンズを通して前記紫外線を前記コアに照射する工程とを包含することを特徴とするファイバグレーティング作製方法。



10 (補正後) . グレーティングが書き込まれるべきコアと、前記コアを囲むクラッドとを備えたガラスファイバ構造を作製する工程と、

前記ガラスファイバ構造の外周面を紫外線透過型樹脂から形成された被覆層で覆う工程と、

第1 紫外線を前記被覆層の外側から前記コアに対して照射することによってグレーティングを前記コアに書き込む工程とを包含するファイバグレーティングの作製方法であって、

前記グレーティングの書き込み工程において、前記被覆層の外周面を前記紫外線のビームパターンの外縁に内接させることを特徴とするファイバグレーティングの作製方法。

11 (補正後) . 前記第1 紫外線の照射前に前記コアに水素を充填することを特徴とするクレーム6に記載のファイバグレーティングの作製方法。

12 . 前記コアとして、GeおよびSnが共にドーブされたものを用いることを特徴とするクレーム6に記載のファイバグレーティングの作製方法。

13 (補正) 前記被覆層で覆われた前記ガラスファイバ構造を有する光ファイバにおけるグレーティングの書き込み予定部位に対しファイバ軸方向への張力を予め印加することによりファイバ軸方向の引っ張りひずみを生じさせる張力印加工程を包含し、

前記グレーティングの書き込み工程は、前記張力印加工程により張力が印加された状態で実行され、

前記グレーティングの書き込み工程の後に、前記張力を解放することにより前記コアに書き込まれたグレーティングのグレーティングピッチを短波長側にシフトする張





力解放工程をさらに包含することを特徴とするクレーム 6 に記載のファイバグレーティング作製方法。

1 4 (削除) .

1 5 (補正後) . ファイバグレーティング作製対象である光ファイバにおけるグレーティングの書き込み予定部位に対しファイバ軸方向への張力を予め印加することによりファイバ軸方向の引っ張りひずみを生じさせる張力印加工程と、

前記張力印加工程により張力が印加された状態の前記光ファイバに対し紫外線を照射することによりファイバ軸方向に所定のグレーティングピッチのグレーティングを前記光ファイバのコアに書き込む照射工程と、

前記照射工程の後に前記張力の印加を解放することにより前記コアに書き込まれたグレーティングのグレーティングピッチを短波長側にシフトする張力解放工程と、

前記張力解放工程の後に、光ファイバに対し設定張力を印加することによりグレーティング書き込み部位についてのスクリーニング試験を行うスクリーニング工程を



行うことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

16. ファイバグレーティング作製対象である光ファイバに対し紫外線を照射する紫外線照射系と、前記光ファイバに対しファイバ軸方向に張力を印加する張力印加機構とを備えたファイバグレーティング作製装置を用い、

前記紫外線照射系により前記光ファイバに対し紫外線を照射することによりその光ファイバのコアに対しファイバ軸方向にグレーティングを書き込む照射工程と、

この照射工程の後に、前記張力印加機構により前記光ファイバに対し設定張力を印加することによりグレーティング書き込み部位についてのスクリーニング試験を行うスクリーニング工程と

を行うことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

17 (補正後). ファイバグレーティング作製対象である光ファイバに対し、ファイバ軸方向に所定のグレーティングピッチのグレーティングが前記光ファイバのコアに書き込まれるように紫外線を照射する紫外線照射系と、

前記紫外線照射系により紫外線が照射される部位の光ファイバに対しファイバ軸方向の引っ張りひずみが生じるよう張力を一時的に印加する張力印加機構と、  
を備え、

前記張力印加機構は、光ファイバの破断強度を越える張力を印加することができることを特徴とするファイバグレーティング作製装置。

18. 張力印加機構は、紫外線照射系により紫外線が照射される部位を挟んでファイバ軸方向に互いに離れた両側位置の光ファイバをそれぞれ固定する一对の固定手段と、

この一对の固定手段の内、少なくとも一方を他方に対しファイバ軸方向に強制的に進退移動させる移動手段と、

を備えていることを特徴とするクレーム17に記載のファイバグレーティング作製装



45/1

置。



19 (補正後) . ファイバグレーティング作製対象である光ファイバに対し、ファイバ軸方向に所定のグレーティングピッチのグレーティングが前記光ファイバのコアに書き込まれるように紫外線を照射する紫外線照射系と、

前記紫外線照射系により紫外線が照射される部位の光ファイバに対しファイバ軸方向の引っ張りひずみが生じるよう張力を一時的に印加する張力印加機構とを備え、

前記張力印加機構は、前記紫外線照射系により紫外線が照射される部位を挟んでファイバ軸方向に互いに離れた両側位置の光ファイバをそれぞれ固定する一对の固定手段と、前記一对の固定手段の内、少なくとも一方を他方に対しファイバ軸方向に強制的に進退移動させる移動手段とを備え、

前記一对の固定手段のそれぞれは、光ファイバをファイバ軸方向に直交する軸の回りに巻き付けることによりその光ファイバとの間の摩擦抵抗に基づいて前記光ファイバを固定する巻胴であり、かつ、前記移動手段により移動される側の巻胴がファイバ軸方向の同一位置において前記直交する軸の回りに回転可能に支持され、

前記移動手段は、前記移動される側の巻胴を前記光ファイバが巻き付けられた状態で設定回転量だけ強制回転させるモータにより構成されていることを特徴とするファイバグレーティング作製装置。

20 (追加) . 前記被覆層は、前記ファイバグレーティングに接続される光ファイバ心線と同等の機械的強度特性を発揮し得るように厚く形成され、

グレーティング書き込み用の前記紫外線は、固体レーザを用いて得たものであり、その照射エネルギー密度を  $1.5$  から  $4.0 \text{ kJ/cm}^2$  までの範囲内にして前記コアに照射することを特徴とするクレーム 6 から 12 のいずれかに記載のファイバグレーティング作製方法。





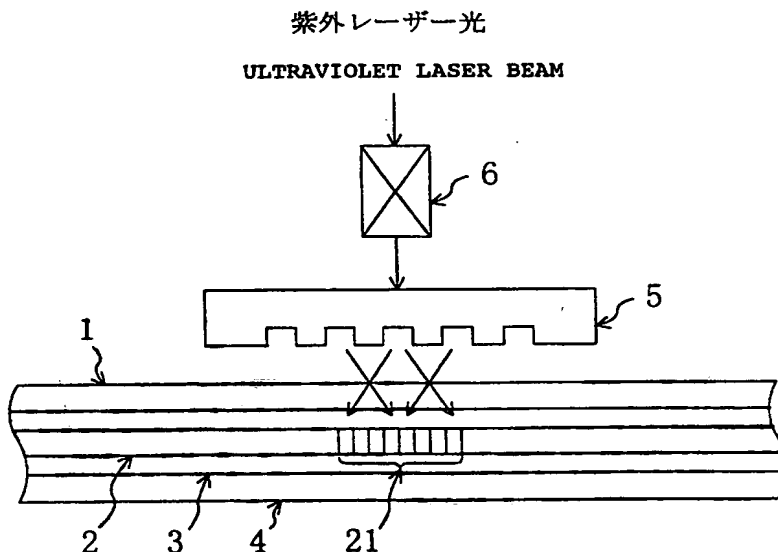
(51) 国際特許分類6 G02B 6/10, 5/18		A1	(11) 国際公開番号 WO99/27399
			(43) 国際公開日 1999年6月3日(03.06.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05311		(74) 代理人 弁理士 前田 弘, 外(MAEDA, Hiroshi et al.) 〒550-0004 大阪府大阪市西区靱本町1丁目4番8号 太平ビル Osaka, (JP)	
(22) 国際出願日 1998年11月25日(25.11.98)			
(30) 優先権データ 特願平9/324167 1997年11月26日(26.11.97) JP 特願平10/112259 1998年4月22日(22.04.98) JP 特願平10/203077 1998年7月17日(17.07.98) JP		(81) 指定国 CA, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱電線工業株式会社 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.)(JP/JP) 〒660-0856 兵庫県尼崎市東向島西之町8番地 Hyogo, (JP)		添付公開書類 国際調査報告書	
(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてののみ) 今村一雄(IMAMURA, Kazuo)(JP/JP) 中井忠彦(NAKAI, Tadahiko)(JP/JP) 須藤恭秀(SUDO, Yasuhide)(JP/JP) 〒664-0027 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo, (JP)			

(54) Title: FIBER GRATING, ITS MANUFACTURING METHOD AND ITS MANUFACTURING DEVICE

(54) 発明の名称 ファイバグレーティング、その作製方法および作製装置

## (57) Abstract

A highly reliable fiber grating and its manufacturing method, wherein: as a core (2), in addition to Ge of an ordinary concentration equivalent to the concentration of the core of a connection object optical fiber, a core co-doped with Sn and Al of predetermined concentrations is employed; a primary covering layer (4) made of ultraviolet ray transmitting resin which transmits an ultraviolet ray with a wavelength of 240 nm - 270 nm and, on the other hand, absorbs an ultraviolet ray with a wavelength in wavelength regions shorter than 240 nm and longer than 270 nm to be cured is applied to the core and the glass part (F) of a cladding (3); a grating is written by applying an ultraviolet ray to the outside of the primary covering layer; and a secondary covering layer (7) made of resin which has a negative linear expansion coefficient so as to cancel and suppress the elongation and contraction caused by the positive linear expansion coefficient of the glass part involving temperature change is applied to the primary covering layer; whereby the grating can be written without causing the deterioration of transmission characteristics and, in addition, both the transmission characteristics and mechanical characteristics can be satisfied at the same time while the improvement of productivity is not obstructed and, moreover, temperature characteristics can be stabilized.



# (57)要約

コア2として、接続対象の光ファイバのコアと同等の通常濃度のGeに加え、所定濃度のSn及びAlを共ドーブしたものをを用いる。コア及びクラッド3のガラス部Fに対し、240nm～270nmの紫外線を透過する一方、240nmよりも短い波長域または270nmよりも長い波長域の紫外線を吸収して硬化する紫外線透過型樹脂により一次被覆層4を施す。一次被覆層の外側から紫外線を照射してコアに対しグレーティングの書き込みを行う。一次被覆層に対し、温度変化に伴いガラス部の正の線膨張係数に起因する伸び縮みを打ち消して抑制するように負の線膨張係数を有する樹脂により2次被覆層7を施す。伝送特性の悪化を招くことなく容易にグレーティングの書き込みを可能とし、加えて、生産性の向上を阻害することなしに伝送特性と機械的強度特性との両立を図るのみならず、温度特性の安定化をも図り得る信頼性の高いファイバグレーティングおよびその作製方法を提供する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール
AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ			TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	ML	マリ	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	US	米国
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	VN	ヴィエトナム
CH	スイス	IN	インド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボアール	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CM	カメルーン	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CN	中国	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CZ	チェコ	KR	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DE	ドイツ	KZ	韓国	RU	ロシア		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
EE	エストニア	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		

## 明 細 書

## ファイバグレーティング、その作製方法および作製装置

**技術分野**

本発明は、周期的な屈折率差を示す回折格子（グレーティング）を光ファイバのコア内に書き込んだファイバグレーティング、その作製方法および作製装置に関する。

**背景技術**

従来より、この種のファイバグレーティングとして、光ファイバのコアに対しグレーティングを2光束干渉法もしくは位相マスク法等によって書き込まれたものが知られている（例えば、特開平6-235808号公報、特開平7-140311号公報、特許第2521708号参照）。このようなファイバグレーティングでは、ゲルマニウム（Ge）をドープした石英ガラス（コア）に対しコヒーレントな紫外レーザー光を照射することにより該当箇所に光誘起屈折率変化を生ぜしめてブラッグ（Bragg）グレーティングが生成（書き込み）されるようになっている。

ところで、書き込み対象である光ファイバは、一般に、コア及びクラッドに対し紫外線を吸収して硬化反応を生じる紫外線硬化型樹脂等による被覆層が被覆されたものであり、紫外線照射により上記のグレーティングを書き込むには、上記の2光束干渉法もしくは位相マスク法等にしても通常は書き込み対象部位の被覆層を除去した状態で行われ、グレーティングの書き込み終了後に、その被覆層除去部分に対し再被覆が行われている。

ところが、上記被覆層を除去すると、光ファイバ素線の外表面（クラッドの外表面）が外気と接触することになり、書き込み作業期間における空気との接触により光ファイバ素線に劣化が進行して伝送特性の悪化を招くおそれがある。その上に、上記書き込み対象部位の被覆層の除去は光ファイバ素線に対する損傷防止のために機械的手段ではなく例えば薬品により溶解させる化学的処理により行われ、この被覆層の除去

工程に手間がかかるためグレーティング書き込みを大量処理する上で効率を阻害する要因となっている。

一方、被覆層を除去しないで被覆層の外側から紫外線を照射することによりグレーティングの書き込みを有効に行うには、書き込み対象の光ファイバのコア部分の光誘起屈折率変化に対する感度（フォトセンシティビティ）を高めることが考えられる。このフォトセンシティビティを高める、すなわち、比較的大きな光誘起屈折率変化を生じさせる手法として、書き込み対象のコアとして、通常濃度（コア／クラッドの比屈折率差が例えば0.9%になる程度の濃度）よりも高濃度（比屈折率差が例えば1.5～2.0%になる程度の濃度）のGeをドープしたコアを用いるか、もしくは、通常濃度のGeをドープした後に高圧下で水素を充填したコアを用いることが提案されている（電子情報通信学会論文誌 Vol.J79-C-1, No.11, 415 頁, 1996年11月参照）。

しかしながら、上記の高濃度のGeをドープしたコアを用いてファイバグレーティングを製作した場合、このファイバグレーティングをフィルタ等として使用するために通常の光ファイバに介装すると、上記ファイバグレーティングに対し接続（融着）される光ファイバのコアが通常濃度でGeドープされた通常仕様のものであるため両コア間の整合がとれず、Geドープの濃度の差に起因して接続損失が増大してしまうという不都合が生じることになる。一方、上記の高圧水素充填を施したコアを用いてファイバグレーティングを製作しようとする、充填した水素が時間の経過と共に拡散し、比較的短期間（例えば数日間）で水素充填前の状態に戻ってしまうため、紫外線照射によるグレーティングの形成期間がかなり短期間に制限されてしまう上に、上記の水素抜けを考慮して書き込む必要があるため紫外線照射の波長制御が困難になるという不都合が生じる。

さらに、グレーティングが書き込まれたファイバグレーティングが温度変化の影響を受けたり、外部からの張力の影響を受けて伸び縮みするとグレーティングの反射波長がシフトしてしまうため、ファイバグレーティングとしては機械的強度特性及び温度変化が生じて伸び縮みしないような安定した温度特性を具備する必要がある。

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、伝送特性の悪化を招くことなく容易にグレーティングの書き込みを可能とし得るファイバグレーティングを提供することにある。加えて、伝送特性の安定化のみならず温度特性の安定化をも図り得て信頼性の高いファイバグレーティングを提供することにある。

本発明の他の目的は、生産性の向上を阻害することなしに伝送特性と機械的強度特性との両立を図り得るファイバグレーティング及びその作製方法を提供することにある。

### 発明の開示

本発明のファイバレーティングは、グレーティングが書き込まれたコアと、前記コアを囲むクラッドと、前記クラッドの外周面を被覆する紫外線透過型樹脂層とを備えたファイバグレーティングであって、特定波長帯の紫外線を樹脂層の外側から前記コアに対して照射することによってグレーティングをコアに書き込んだものである。

このファイバグレーティングによれば、コア及びクラッドを覆う被覆層が紫外線透過型樹脂によって形成されているため、前記被覆層の外側から紫外線を照射しても、その紫外線が被覆層を透過してコアを有効に照射し、そのコアに対しグレーティングを書き込むことが可能になる。従って、被覆層を除去することなしに、グレーティングの書き込みを行うことが可能になる。そのため、被覆層の除去に伴う伝送特性の悪化を招くことなく、しかも、その被覆層除去の工程を省略して容易にファイバグレーティングの製造が可能になる。

紫外線透過型樹脂の被覆層として、少なくともグレーティング書き込み用の特定波長帯の紫外線を透過する特性を有する構成とするものである。この場合、紫外線透過型樹脂の被覆層として好ましいものが具体的に特定される。すなわち、前記被覆層としてはグレーティング書き込み用の特定波長帯、例えば250nm～270nmの波長帯の紫外線を透過するものであればよい。紫外線透過型樹脂としては、250nm～350nmの範囲内に前記特定波長帯（透過帯域）を持つものを用いることができ

る。このような帯域に波長を有する紫外線の光源としては、固体レーザのように空間的コヒーレンシーの高いものを用いることが好ましい。

被覆層は、グレーティング書き込み用の特定波長帯よりも短い波長域または長い波長域の紫外線を吸収して硬化する特性を有している。

本発明に用いる被覆層によれば、前記特定波長帯の紫外線を透過するためグレーティングの書き込みが被覆層の外側からの紫外線照射により可能になると同時に、被覆層形成時において紫外線を吸収して被覆層が硬化されて光ファイバの保護被覆としての役割を果たすことになる。

コアとして、接続対象の光ファイバのコアと同等の $G_e$ に加え少なくとも $S_n$ が共にドーピングされていることが好ましい。なお、前記の $G_e$ のドーピング量としては、クラッドに対するコアの比屈折率差が0.9%になる程度の量とする一方、 $S_n$ の濃度を10000～15000ppmとするのが好ましい。

共ドーピングされた $S_n$ （錫）によってコアの光誘起屈折率変化が通常濃度の $G_e$ をドーピングしただけのコアと比べ定常的に増大する。その結果、紫外線を照射した場合に通常濃度の $G_e$ をドーピングしただけのコアと比べ増大して反射率が増大することになる。すなわち、グレーティングにより反射される特定波長（ブラッグ波長） $\lambda_B$ は次の(1)式により表され、そのブラッグ波長の光を反射する反射率 $R_B$ は(2)式により表される。

【数1】

$$\lambda_B = 2 \cdot n \cdot P \text{ ----- (1)}$$

$n$  : 実効屈折率

$P$  : グレーティングピッチ

【数 2】

$$R_B = \tanh^2(\pi \cdot L \cdot \Delta n \cdot \eta / \lambda_B) \text{ ----- (2)}$$

L : グレーティング長

 $\Delta n$  : 屈折率変調分 $\eta$  : コア領域に含まれる伝搬光エネルギー

ここで、前記の  $S_n$  を共ドープすることにより紫外線を照射した場合に前記の(2)式における屈折率変調分  $\Delta n$  が通常濃度の  $G_e$  をドープしただけのコアと比べ増大し、その結果、反射率  $R_B$  が増大することになる。従って、被覆層を紫外線透過型樹脂により形成することによって被覆層を除去することなしにグレーティングの書き込みを有効に行い得ることになる上に、前記の  $S_n$  の共ドープによって書き込まれるグレーティングの反射率の増大効果が得られることになる。

しかも、 $G_e$  ドープの濃度は接続対象の光ファイバのコアと同等であるため、通常仕様の光ファイバと接続しても接続損失の増大を招くこともない。さらに、高圧水素充填を行わなくても、前記の  $S_n$  の共ドープによって反射率の増大が定常的に得られるため、前記の高圧水素充填を行った場合のグレーティングの形成期間に対する制限を受けることもない。

ここで、紫外線照射に対する光誘起屈折率変化のメカニズムについては、 $G_e$  原子と  $SiO_2$  (石英ガラス) との結合が紫外線照射により変化して屈折率変化を生じるとするクラマースークローニツヒ機構に基づく考え方、ガラス結合が紫外線照射により切断されてガラス構造の潰れが生じ、これにより、密度が増大して屈折率が上昇するとする圧縮モデルに基づく考え方、または、双極子モデルに基づく考え方等の種々のものが提案されているが、未だ完全には解明されていないのが実情である。そして、前記の  $S_n$  の共ドープにより光誘起屈折率変化が増大するメカニズムについても定かではないが、本願発明者は、手間とかなりの期間(例えば2週間)を要する上

にグレーティングの形成期間に制限がある高圧水素充填という手段を用いることなく、しかも、接続損失を招くことのないように  $G_e$  のドーブ量を通常仕様と同等にすることを前提にして、コアに対するドーブ物質について種々の検討・試験を行った結果、前記の  $S_n$  の共ドーブを行えば従来の不都合を招くことなく反射率を増大させ得ることを見出だした。

さらに、グレーティングが書き込まれた状態で紫外線透過型樹脂の被覆層の外表面が2次被覆層により被覆されたものとするのが好ましい。前記2次被覆層として、正の線膨張係数を有する光ファイバのガラス部の温度変化に対する膨張を打ち消すよう負の線膨張係数を有する素材により形成する。前記の如き負の線膨張係数を有する2次被覆層としては、例えば液晶高分子ポリマー (LCP; Liquid Crystal Polymer) を用いて形成すればよい。この場合、温度変化、例えば温度上昇が生じてコア及びクラッドが膨張傾向になっても、2次被覆が収縮傾向となって前記コア及びクラッドの膨張傾向を抑制してその膨張傾向を打ち消すことになる。その結果、ファイバグレーティングは温度変化を受けても伸縮することなく温度変化前の状態と同じ状態に保持され、すなわち、温度変化に対する安定性の向上が図られ、これにより、伸縮に起因する反射波長のシフトも防止・抑制され、確実に同じ反射機能の維持が図られる。ここで、前記の膨張傾向となるコア及びクラッドと、収縮傾向となる2次被覆との間で両境界面に密着する紫外線透過型樹脂による一次被覆層が伸び縮みを打ち消し合う緩衝層としての役割を果たすことになる。また、この2次被覆層をグレーティングの書き込み部位のみならず、ファイバグレーティングを構成する光ファイバの全長に亘り連続して形成することにより、前記の温度変化に対する安定性向上のみならず、外部張力に対する機械的強度特性の向上をも図られることになる。

本発明のファイバグレーティングの作製方法によれば、被覆層を機械的強度特性を満足し得る比較的厚肉の特定膜厚にして形成し、その後に前記厚肉の被覆層の外側から紫外線を照射する。そのようにしても、照射エネルギーを特定範囲に設定することによって、高反射率の優れた伝送特性を有しかつ前記被覆層自体の強度劣化を招かないファイバグレーティングが得られる。



具体的には、前記被覆層を紫外線透過型樹脂によりファイバグレーティングが接続される接続対象の光ファイバ心線と同等の機械的強度特性を発揮し得るよう厚肉に形成した後に、前記紫外線の照射を照射エネルギー密度が少なくとも $1.5 \sim 4.0 \text{ kJ/cm}^2$ 程度になるように行う。この場合、被覆層の膜厚を接続対象の光ファイバ心線と同等の機械的強度特性を発揮し得るような厚肉に形成しても、前記の照射エネルギー密度で紫外線の照射を行うことにより書き込み対象のコアに対し高反射率の優れた伝送特性のグレーティングを形成することができ、かつ、ガラス部分及び被覆層に対する紫外線照射に伴う強度劣化を最小限に抑制して前記の機械的強度特性を保持し得ることになる。しかも、グレーティングの書き込み前に所定の厚肉の被覆層が形成されているため、生産性の向上を阻害することなくファイバグレーティングの大量生産が可能になる。なお、ファイバグレーティングの主な種類として、ほぼ $0.5 \mu\text{m}$ 周期の屈折率変調を実現してコアへの後方結合を実現する短周期ファイバグレーティングと、ほぼ $100 \sim 500 \mu\text{m}$ 周期の屈折率変調を実現してクラッドへの前方結合を実現する長周期ファイバグレーティングとがあるが、本発明はいずれの種類のファイバグレーティングにも適用可能である。

ここで、被覆層は光ファイバ素線の線引直後にシングルコートにより形成するのが生産性の観点から最も好ましい。被覆層の「膜厚」としてはグレーティング書き込み後の機械的強度特性がファイバグレーティングが接続される通常の通信用光ファイバ心線と同程度になるようにすればよい。具体的には、少なくとも $30 \mu\text{m}$ 程度の膜厚になるようにすればよい。 $125 \mu\text{m}$ の光ファイバ素線であれば、例えば $37.5 \mu\text{m}$ というように $30 \sim 50 \mu\text{m}$ の膜厚の被覆層を形成することが好ましい。本発明によれば、グレーティングの書き込みに際して被覆層を除去しないため、光ファイバ強度が低下しにくく、被覆層の厚さを $50 \mu\text{m}$ 以下にしても十分な機械的強度が達成される。

また、紫外線の「照射エネルギー密度」としては、好ましくは被覆層のヤング率増大を所定範囲に抑制する上で、 $1.5 \sim 4.0 \text{ kJ/cm}^2$ の範囲内の値にする。紫外線照射方法としては、パルス当たりのエネルギーを一定にして微小パルス幅で所定

のパルス周波数で繰り返し照射する、連続して照射する、間隔を開けて単発的に大エネルギーで照射する等の種々の方法を採用してもよい。

このような照射エネルギー密度での紫外線照射は、その紫外線をシリンドリカルレンズにより集光して照射すればよく、その場合には、その集光されて焦点に向かうビームパターンの内部位置に前記被覆層の全体が位置するようにすればよい。

前記シリンドリカルレンズにより集光すれば、その焦点位置で紫外線の照射密度が最も高くなるものの、書き込み対象の光ファイバ心線の被覆層の外側から紫外線照射を行う場合にはその光ファイバ心線を前記焦点位置に配設すると被覆層が局部的にダメージを受けて焦げたり変色（黄変）したりすることとなる。前記の如く被覆層全体がビームパターンの内部位置に位置するようにすれば、被覆層にダメージを受けることなく所定の照射密度で均一に照射することが可能になる。加えて、前記ビームパターンの内部位置であっても、照射処理の短時間化をはかる観点から、書き込み対象の光ファイバ心線を前記光ファイバ心線の被覆層の外周面が前記ビームパターンの外縁に内接する位置に配設するのが最も好ましい。すなわち、前記の内接する位置が前記焦点位置に最も近い位置となり、かつ、被覆層の全体がビームパターンの内部に配置される位置となるため、被覆層のダメージを回避し得る範囲で最も高い照射密度の紫外線を照射し得ることになる。

さらに、コアに対し紫外線の照射前に水素を充填しておくことにより、紫外線照射に対する光誘起屈折率変化の増大化が得られ、より一層高い反射率のグレーティングの形成が可能になる。また、前記書き込み対象のコアとして、Geに加え少なくともSnを共にドーピングして得られたものを用いることにより、たとえ前記Geドーピング濃度を接続対象の光ファイバ心線と同等にしたとしても紫外線照射に対する光誘起屈折率変化の増大化が得られ、より一層高い反射率のグレーティングの形成が可能になる。

被覆層の外側から紫外線を照射する場合に、シリンドリカルレンズにより集光した紫外線を照射することによりファイバグレーティングを作製する場合、被覆が施された光ファイバを、前記シリンドリカルレンズとこのシリンドリカルレンズの焦点との間の位置であって、前記シリンドリカルレンズにより前記焦点に向けて集光される紫

外線のビームパターンの内部位置に被覆層を含めた全体が位置するように配設することが好ましい。

シリンドリカルレンズにより集光された焦点位置で紫外線の照射密度が最も高くなるため、紫外線照射を被覆層の外側からではなく被覆層を除去した状態で行う場合は、被覆層除去後のガラス部分をなるべく前記焦点位置近傍に配設する。しかし、本発明のように紫外線照射を被覆層の外側から行う場合、光ファイバ心線を前記焦点位置に配設すると被覆層が局部的にダメージを受けて焦げたり変色（黄変）したりすることとなる。しかし、被覆層全体がビームパターンの内部に位置するように配設すれば、被覆層にダメージを与えることなく所定の照射密度で均一に照射することが可能になる。

特に、前記ビームパターンの内部であって、光ファイバ心線をその被覆層の外周面がビームパターンの外縁に内接する位置に配設するのが最も好ましい。すなわち、内接位置が焦点位置に対し最も近い位置となり、かつ、被覆層の全体がビームパターンの内部に配置される位置となるからである。そのため、被覆層のダメージを回避し得る範囲で最も高い照射密度の紫外線を照射し得ることになる。これにより、グレーティングの書き込み処理の短時間化が図られ、ファイバグレーティング作製の効率化が図られることになる。

なお、紫外線照射前にコアに水素充填を行う、あるいは、Geに加え少なくともSnを共にドーブしたコアを用いることが好ましい。

本発明の他のファイバグレーティング作製方法によれば、張力を印加して引っ張りひずみを生じさせた状態のままでグレーティングの書き込みを行う。その後、印加した張力を解放することによって引っ張りひずみを弾性復元させれば、コアに書き込まれたグレーティングのグレーティングピッチが前記弾性復元分だけ狭くなり、これにより、波長特性を短波長側にシフトすることができ、しかも、その短波長側にシフトした状態を安定的に維持し得る。

具体的には、本発明では、ファイバグレーティング作製対象である光ファイバにおけるグレーティングの書き込み予定部位に対しファイバ軸方向への張力を予め印加す

ることによりファイバ軸方向の引っ張りひずみを生じさせる張力印加工程と、この張力印加工程により張力が印加された状態の光ファイバに対し紫外線を照射することによりファイバ軸方向に所定のグレーティングピッチのグレーティングを前記光ファイバのコアに書き込む照射工程と、この照射工程の後に前記張力の印加を解放することにより前記コアに書き込まれたグレーティングのグレーティングピッチを短波長側にシフトする張力解放工程と実行する。

この場合、張力印加工程により、光ファイバのコアにはファイバ軸方向の引っ張りひずみ（伸びひずみ）が生じてそのコアがファイバ軸方向に伸びた状態にされる。次に、この状態で照射工程が行われ、前記の伸びた状態のコアに対し所定のグレーティングピッチのグレーティングが書き込まれることになる。そして、このグレーティングが書き込まれた光ファイバに対する張力が次の張力解放工程によって解放され、これにより、前記伸びひずみが弾性復元し、これに伴い前記の書き込まれたグレーティングのグレーティングピッチが狭くなる側に移行する。この結果、そのグレーティングにより反射される光の波長がグレーティングピッチが狭くなった分、短波長側に移行（シフト）することになる。従って、従来のグレーティング書き込み後に張力を印加した状態に保持する張力印加方法では実現し得なかった波長特性の短波長側へのシフト制御が本方法では可能になる。また、この場合、前記従来の張力印加方法と異なり、予め張力印加状態にしてグレーティングの書き込みを行い、その後に前記張力を解放するものであるため、前記の短波長側にシフトされたグレーティングが無負荷状態の光ファイバのコアに対し安定した状態で形成されていることになり、前記短波長側にシフトされたファイバグレーティングの波長特性が安定的に得られることになる。その上に、前記の従来の張力印加方法と比べ、グレーティング書き込み後の光ファイバを個別に張力印加状態に保持する必要がなく、取扱に優れる上に張力印加により波長制御されるファイバグレーティングを大量生産することが容易に実現することになる。

ここで、ファイバグレーティングの作製に用いる光ファイバとしては、コア及びクラッドからなる光ファイバ素線、すなわち、被覆層を除去した状態のものを用いても

良いが、これに限らず、前記光ファイバ素線に対し被覆層が形成された光ファイバ心線を用いるようにしてもよい。この場合には照射紫外線を透過させて紫外線照射によるコアにおける光誘起屈折率変化を有効に生じさせるために前記被覆層を紫外線透過型樹脂により形成するのが好ましい。このような被覆層の上から紫外線の照射を行う場合には、張力印加工程において印加し得る張力を高い値に設定することが可能になり、印加張力の値を高くするほど、コアに発生する引っ張りひずみ量を大きくして張力解放工程による弾性復元量、すなわち、グレーティングピッチの収縮量を大きくし得ることになる。その結果、波長特性の短波長側へのシフト量も大きくなり、波長制御を行い得る範囲を拡大させることが可能になる。例えば、光ファイバ素線の場合であると一般に伸び量が1%に対応する張力の印加により破断のおそれがあるためにそれ以下の低張力領域で張力印加工程を行うことになるものの、光ファイバ心線の場合であると破断のおそれが生じる伸び量が一般に6%であるため、光ファイバ心線を対象として張力印加工程を行う場合には少なくとも4%以上の伸び量に対応する高張力を印加することが可能になる。

また、前記の波長制御のための張力印加及びその解放を行った後に、作製されたファイバグレーティングに対し所定の設定張力を印加することによりグレーティング書き込み部位についてのスクリーニング試験を行うというスクリーニング工程を続けて行うようにしてもよい。これにより、前記波長制御されたグレーティング書き込み部位についての機械的特性、すなわち、強度や表面傷の有無等についての検査をもファイバグレーティングの作製と併せて行うことが可能になり、ファイバグレーティングの大量生産システムとして好適なものとなる。

なお、前記のスクリーニング工程は、前記の張力印加工程及び張力解放工程の両者を行わずに照射工程のみを行うことによりグレーティングを書き込むという通常のファイバグレーティング作製方法に引き続いて実施するようにしてもよい。これにより、ファイバグレーティングの作製において、グレーティングの書き込みと、そのグレーティングが書き込まれたファイバグレーティングについてのスクリーニング試験とが一連の工程により行われることになり、この場合においてもファイバグレーティン

グの大量生産システムとして好適なものとなる。

本発明のファイバグレーティング作製装置によれば、ファイバ軸方向に所定のグレーティングピッチのグレーティングが光ファイバのコアに書き込まれるように光ファイバに紫外線を照射する紫外線照射系と、この紫外線照射系により紫外線が照射される部位の光ファイバに対しファイバ軸方向の引っ張りひずみが生じるよう張力を一時的に印加する張力印加機構とを備えていることを特定事項とするものである。

ここで、前記の「紫外線照射系」としては、紫外線、好ましくは紫外レーザ光を前記光ファイバに対しグレーティングを書き込む軸方向範囲にわたり照射することによりグレーティングを書き込むための全ての器機及び機構を含み、例えばレーザ源、位相マスク、レーザ光の照射位置変更機構等を含むものである。また、前記の「張力印加機構」としては、前記紫外線照射部位を挟んだ軸方向両側位置の光ファイバを把持、接着、摩擦等の手段により位置固定し、その位置固定した部位の一方もしくは双方を軸方向に移動させることにより、前記紫外線照射部位に対し張力を付与した状態にするように構成すればよい。

前記張力印加機構により紫外線照射部位に対しファイバ軸方向の張力を印加させて、それを維持させることにより前記の張力印加工程が行われ、その張力を印加させた状態で紫外線照射系からの紫外線を照射することにより照射工程が行われ、これにより、前記紫外線照射によるグレーティングの書き込みが前記張力印加によりファイバ軸方向への引っ張りひずみが生じた状態のコアに対し行われることになる。そして、グレーティングの書き込み後に前記張力印加機構による張力印加を解放させることにより張力解放工程が行われる。これにより、前記コアはファイバ軸方向に収縮して復元し、そのコアの収縮に伴い前記の書き込まれたグレーティングもファイバ軸方向に収縮する結果、グレーティングピッチも当初書き込まれたものよりも狭いものとなる。この結果、そのグレーティングにより反射される光の波長を張力印加状態で書き込まれたグレーティングよりも短波長側にシフトさせることが可能になる。

ここで、前記の「張力印加機構」として、具体的には、紫外線照射系により紫外線が照射される部位を挟んでファイバ軸方向に互いに離れた両側位置の光ファイバをそ

れぞれ固定する一対の固定手段と、この一対の固定手段の内、少なくとも一方を他方に対しファイバ軸方向に強制的に進退移動させる移動手段とを備えたものにより構成すればよい。さらに具体的な構成を示すと、例えば、前記各「固定手段」として、光ファイバをファイバ軸方向に直交する軸の回りに巻き付けることによりその光ファイバとの間の摩擦抵抗に基づいて前記光ファイバを固定する巻胴が挙げられる。つまり、巻胴の外周面に対し光ファイバを巻き付けることによりその光ファイバと巻胴の外周面との間に発生する摩擦抵抗によって光ファイバがその軸方向に相対移動しないように固定するものである。この場合、前記移動手段により移動される側の巻胴をファイバ軸方向の同一位置において前記直交する軸の回りに回転可能に支持されたものとし、その移動される側の巻胴を前記光ファイバが巻き付けられた状態で設定回転量だけ強制回転させるモータにより前記の「移動手段」を構成すればよい。前記のように摩擦抵抗により光ファイバの位置固定が行われるため、その光ファイバ自体に傷が付くおそれを確実に回避した状態で光ファイバの固定が可能になる上に、巻胴をその中心軸回りに前記モータにより強制回転させれば、前記光ファイバに対し張力を付与することが容易かつ確実に達成される。なお、前記の「巻胴」としては円筒形もしくは円柱形のものが採用され、前記「モータ」としては張力印加制御の容易性から入力パルス数に比例して回転量が定まるパルスモータ等を採用するのが好ましい。

また、前記のファイバグレーティング作製装置を用いれば、前記の照射工程とスクリーニング工程とのみを行う場合においても、グレーティングの書き込みと、そのグレーティングが書き込まれたファイバグレーティングのスクリーニング試験との双方が同じ作製装置を用いて行うことが可能になる。すなわち、グレーティングの書き込みを紫外線照射系からの紫外線照射により無負荷状態の光ファイバに対し行った後、張力印加機構によりスクリーニング試験用の所定の伸びひずみがファイバ軸方向に生じるように張力を印加するようにすればよい。

### 図面の簡単な説明

図 1 は本発明の実施形態におけるグレーティングの書き込み法を示す模式図である。

図 2 は図 1 の光ファイバ心線に対しさらに 2 次被覆層を施した光ファイバ心線の横断面図である。

図 3 は 2 次被覆層の必要線膨張係数を断面積およびヤング率との関係で示す図である。

図 4 は実施形態の用途を示す模式図である。

図 5 は図 4 とは異なる用途を示す模式図である。

図 6 は図 4 及び図 5 とは異なる用途を示す模式図である。

図 7 は温度変化に対する歪み変化量及び位相変化量の特性を示す図である。

図 8 は波長に対する吸収量の特性を示す図である。

図 9 は各種ファイバグレーティングの紫外光の照射時間に対する反射率特性を示す図である。

図 10 は作製装置を示す模式図である。

図 11 は光ファイバ心線とシリンドリカルレンズ系の位置関係を示す図である。

図 12 は光ファイバ心線の拡大横断面図である。

図 13 は紫外線吸光度の照射エネルギー密度に対する依存特性を示す図である。

図 14 はファイバグレーティングの反射スペクトルを示す図である。

図 15 はファイバグレーティングの破断強度のワイブル分布を示す図である。

図 16 はファイバグレーティングの中心波長の温度特性を示す図である。

図 17 はファイバグレーティングの中心波長の張力印加特性を示す図である。

図 18 は本発明の実施形態に係るファイバグレーティング作製装置を示す模式図である。

図 19 は、図 18 の張力印加機構の拡大説明図である。

図 20 は、図 19 の A-A 線における拡大断面図である。



### 発明を実施するための最良の形態

#### **[第1の実施形態]**

以下、図面を参照しながら、本発明によるファイバグレーティングの実施形態を説明する。

図1は、本実施形態に係るファイバグレーティングの作製方法の原理を示している。図1には、グレーティング書き込みの対象である所定長の光ファイバ心線1が示されている。この光ファイバ心線1は、ブラッググレーティング (Bragg Grating) 21が書き込まれるコア2と、コア2の周りに形成されたクラッド3と、クラッド3の外表面を被覆する被覆層4とから構成されている。

コア2には、通常仕様の光ファイバのコアに含まれているGeと同程度の濃度を有するGeがドーピングされている。光誘起屈折率変化を定常的に高めるためには、Geに加えて、Sn、Sn及びAl、または、Sn、Al及びBのドーパントをコア2にドーピングしておくことが好ましい。ここで、通常仕様の光ファイバとは、前記光ファイバ心線1に接続される光ファイバ心線のことである。このような光ファイバ心線のコアには、通常、比屈折率差が0.9%程度なる量のGeがドーピングされている。

前記光ファイバ心線1のコア2には、通常仕様の光ファイバのコアと同量（比屈折率差が0.9%となる程度の量）のGeに加え、濃度10000ppm以上、好ましくは濃度10000～15000ppmのSnがドーピングされる。このような濃度のSnとともに、度1000ppm以下のAl等を共ドーピングしてもよい。

前記ドーパントの添加は、種々の公知の方法により行えばよい。例えば浸漬により行う場合には、GeやSnの化合物（Snの場合、例えば $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）をメチルアルコールと混合し、その溶液の中にコアを浸漬すればよい。

一次被覆層4は、紫外線を透過する特性を有する紫外線透過型の樹脂により形成されたものである。この一次被覆層4としては、グレーティング21の書き込みのために照射される紫外線の特定波長帯（例えば250nm～270nmの波長帯）を少なくとも透過させるものであればよい。特に好ましくは、前記特定波長帯の紫外線を殆ど吸収せずに透過させる一方、前記特定波長帯よりも短い波長または長い波長の紫外

線を吸収して硬化反応を生じさせる樹脂が用いられる。つまり、波長によって紫外線吸収特性が異なり、前記特定波長帯では紫外線透過型である一方、前記特定波長帯よりも短い波長域または長い波長域では紫外線硬化型であるような樹脂によって一次被覆層 4 を形成するのが最も好ましい。このような樹脂としては、ウレタン系アクリレートもしくはエポキシ系アクリレートに対し例えば 240 nm よりも短い波長域または 270 nm よりも長い波長域の紫外線を受けて硬化反応を開始・促進させるような光開始剤（フォトリソエータ）を配合したものをを用いればよい。

次に、Ge と、所定濃度の Sn または Sn 及び Al とが共ドーピングされたコア 2 と、紫外線透過型樹脂により被覆された一次被覆層 4 とを有する光ファイバ心線 1 に対して、グレーティング 21 の書き込みを行う。

このグレーティング 21 の書き込みは周知の種々の方法を採用して行えばよい。例えば位相マスク法によって行うことができる。その場合には、図 1 に示すように前記光ファイバ心線 1 の側方直前に格子状の位相マスク 5 を配設し、この位相マスク 5 に対し紫外レーザー光をシリンドリカルレンズ系 6 を介して照射すればよい。このとき、例えば Nd-YAG レーザの 4 倍波長である 266 nm のコヒーレント紫外光を照射する。これにより、コア 2 に対し前記の位相マスク 5 の格子ピッチに対応したグレーティングピッチのグレーティング 21 が書き込まれることになる。

このグレーティング 21 の書き込みに際し、光ファイバ心線 1 の外表面層を構成する一次被覆層 4 が紫外線透過型樹脂により形成されているため、照射された紫外レーザー光を透過させて書き込み対象のコア 2 に対し有効に照射させることができ、そのコア 2 に対しグレーティング 21 の書き込みを有効に行うことができるようになる。従って、一次被覆層を除去することなしにグレーティング 21 の書き込みを容易に行うことができ、従来の如く面倒な被覆層の除去作業を省略することができる。これにより、ファイバグレーティングの大量製造が容易にしかも効率的に行い得るようになる。

書き込み対象のコア 2 が Ge に加え、Sn もしくは Sn 及び Al が共ドーピングされたものであるため、前記紫外レーザー光の照射を受けて比較的大きな光誘起屈折率変

化を生じさせ（フォトセンシティブリティの高感度化）、高反射率のグレーティング 21 の形成が可能になる。しかも、このようなグレーティング 21 の高反射率化が通常仕様の光ファイバのものと同等の  $G_e$  ドープ量のままで達成できるため、ファイバグレーティングを構成する光ファイバ心線 1 の両端に対して通常仕様の光ファイバ心線を接続しても、 $G_e$  ドープ量の非整合に伴う接続損失が発生するおそれもない。さらに、光誘起屈折率変化の増大化が定常的なものであるため、高圧水素充填による高反射率化の場合に受けるグレーティングの形成期間の制限が生じることはない。

前記の如くグレーティング 21 が書き込まれた光ファイバ心線 1 の一次被覆層 4 の外表面に対し、図 2 に示すように、さらに負の線膨張係数を有する 2 次被覆層 7 を前記光ファイバ心線 1 の全長に対し連続して被覆することができる。こうすることにより、ファイバグレーティングを含む最終的な光ファイバ心線が得られる。

この 2 次被覆層 7 は、コア 2 及びクラッド 3 からなるガラス部 F の温度変化に対する伸び縮みを抑制してそれを打ち消す方向に伸び縮みをし、結果としてファイバグレーティング全体の温度変化に対する伸び縮みを可及的に抑制・防止し得る温度特性を有する。具体的には、前記 2 次被覆層 7 は、ガラス部 F が有する正の線膨張係数とバランスするような値の負の線膨張係数を有する樹脂により形成される。より詳しくは、ガラス部 F の正の線膨張係数にその硬さ（ヤング率）及び断面積をも加味したガラス部 F の温度特性に対し、2 次被覆層 7 の負の線膨張係数にその硬さ（ヤング率）及び断面積を加味した 2 次被覆層 7 の温度特性がバランス、すなわち、正負の温度特性がバランスするように前記 2 次被覆層 7 の負の線膨張係数、ヤング率、及び、断面積（2 次被覆層 7 の外径もしくは層厚）が定められる。

このような方針の基に定められる前記 2 次被覆層 7 の具体仕様の例を図 3 に基づいて説明する。前記ガラス部 F の正の線膨張係数を  $0.6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、ヤング率を  $73 \text{ GPa}$ 、断面積を  $0.0123 \text{ mm}^2$ （外径  $0.125 \text{ mm}$ ）、及び、一次被覆層 4 の外径を  $0.25 \text{ mm}$ とした場合の 2 次被覆層 7 の具体仕様は、その 2 次被覆層 7 の断面積、線膨張係数及びヤング率をパラメータとして図 3 の如くなる。すなわち、2 次被覆層 7 のヤング率を  $10 \text{ GPa}$ 、 $30 \text{ GPa}$ 、 $50 \text{ GPa}$ 、に設定し、外径

を種々変化させて断面積を変化させた場合に、ガラス部Fの正の温度特性とバランスさせる上で必要となる2次被覆層7の負の線膨張係数が図3から得られることになる。これによると、断面積が $0.1\text{ mm}^2$ 以下の極めて小さい領域を除き、断面積の如何に拘らず $-5\text{ ppm}/^\circ\text{C} \sim -10\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の線膨張係数を2次被覆層7が有していればよいことになる。加えて、特性としてはヤング率の値が高い（硬い）程、絶対値でより小さい負の線膨張係数でよい一方、ヤング率の値が低い（軟らかい）程、温度変化に対しより大きく縮む必要のあることから絶対値でより大きな負の線膨張係数を有することが必要となるものの、ヤング率の高低に対する負の線膨張係数の変動は比較的狭い範囲に限られている。しかも、前記の断面積が極めて小さい場合をも含め、2次被覆層7が必要とする線膨張係数は $-5\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下に設定すればよいことになる。このような2次被覆層7の形成に用いる樹脂としては、例えば、 $-5\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下の線膨張係数と、 $10\text{ GPa}$ 以上のヤング率を有する液晶高分子材料であるVectra A950（ポリプラスチック株式会社製品名）を用いればよい。

なお、前記図3の場合における一次被覆層4の線膨張係数は $100\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、また、ヤング率は $1 \sim 500\text{ MPa}$ である。

前記の如き負の線膨張係数を有する2次被覆層7がファイバグレーティングを構成する光ファイバ心線1'に対し被覆されているため、前記ファイバグレーティングが温度変化を受けても伸び縮みの発生が抑制・防止され、書き込まれたグレーティング21の機能、つまり、特定波長の光を反射する機能を所期のものと同じに維持させることができるようになる。すなわち、前記ファイバグレーティングのガラス部は正の線膨張係数を有しているため雰囲気温度の上昇に伴い膨張して伸びようとするものの、2次被覆層7が負の線膨張係数を有しているため前記温度上昇に伴い縮もうとする。このため、前記ガラス部Fの伸長力と、2次被覆層7の縮小力とが一次被覆層4を介して互いに干渉してバランスすることになり、この結果、前記ガラス部Fの伸長が抑制・防止されて温度上昇前の状態と同じ状態に維持されることになる。

加えて、前記の2次被覆層7がファイバグレーティングを構成する光ファイバ心線1'に対しグレーティング21の書き込み部位の局部的にではなくその光ファイバ心

線 1' の全長に亘り連続して被覆されているため、前記のガラス部 F の伸長力と、2 次被覆層 7 の縮小力とのバランスが光ファイバ心線 1' の全長に亘り発揮されることになり、この結果、ファイバグレーティング全体としての機械的強度特性の安定化をもはかることができるようになる。

以上のようなグレーティング 2 1 が書き込まれたファイバグレーティングの用途としては、以下のようなものがある。例えば、分波器もしくは合波器として用いる場合には、図 4 に示すように比較的狭い幅の多くの異なる波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$  の光を伝送する場合に、その内の特定波長  $\lambda_i$  の光だけを反射させその特定波長  $\lambda_i$  の光をサーキュレータ 8 を介して分波させればよく、このような構成にして例えば Add-Drop 型波長多重通信の分野において用いられる。

また、図 5 に示すようにチャープトファイバグレーティング 2 1' とすることで多層膜フィルタの代用品として用いることができる。すなわち、複数の波長帯 ( $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ) の内から特定波長帯 (中心波長  $\lambda_i$ ) の光を反射させることにより前記特定波長帯の光をカットし、その特定波長帯を除く波長帯の光を透過させるようにするものである。前記のチャープトファイバグレーティング 2 1' の応用例としては、特定波長帯の内でも長波長側の光が早期に反射される一方、短波長の光が遅れて反射されるという遅延特性を利用して、そのような反射波をサーキュレータにより取り出して分散状態で伝送させるという分散補償器として用いることもできる。

さらに、図 6 に示すように増幅媒体 9 を挟んで両側にグレーティング 2 1, 2 1' を形成することにより、各グレーティング 2 1 をレーザーミラーとしての役割を果たさせて共振器を構成することができる。すなわち、特定波長の光を増幅媒体 9 を挟んで両側のグレーティング 2 1, 2 1' で相互に反射させるようにするものである。

本実施形態では、前記の如き各用途においてグレーティング 2 1, 2 1' の高反射率化が図られるため、特定波長もしくは特定波長帯の光をほぼ完全に反射させることができ、その特定波長もしくは特定波長帯の光のほぼ全てを取り出しもしくは遮断することができるようになる。

なお、本発明は前記実施形態に限定されるものではなく、その他種々の実施形態を

包含するものである。すなわち、前記実施形態では、Ge に対し共ドーピングする金属元素をSn 或いはSn 及びAl としているが、これに限らず、例えばセシウム(Ce)、プラセオジウム(Pr)、テルビウム(Tb) もしくはボロン(B)の各種金属元素の内的一种もしくは二種以上をGe と共ドーピングしてもよい。さらに、Ge に対し、Sn と前記各種金属元素との組み合わせを共ドーピングしてもよい。

### ＜実施例1＞

紫外線透過樹脂による一次被覆層4の外側からの紫外線照射により、グレーティングが有効に書き込まれるか否かを調べた。

すなわち、Ge とSn 及びAl とを共ドーピングしたコア2を有する光ファイバ素線を用い、その光ファイバ素線に対し紫外線透過型樹脂による一次被覆層4を施した光ファイバ心線1にその一次被覆層4の外側から紫外線を照射してグレーティングを書き込んだ試料1と、前記光ファイバ素線のコア2に対し高圧水素充填を施し、その光ファイバ素線に第1実施例と同様の紫外線透過型樹脂による一次被覆層4を施した光ファイバ心線1に対しその一次被覆層4の外側から紫外線を照射してグレーティングを書き込んだ試料2と、この第2実施例と同様の高圧水素充填(水素処理)を施したコア2を有する光ファイバ素線に対し一次被覆層4を施すことなしに紫外線を直接照射してグレーティングを書き込んだ試料3とを作成し、そのグレーティングの反射率と、波長と反射率との関係で表される反射スペクトルにおいて最大反射波長帯域における中心波長とその波長幅とを調べた。

以下、具体的に前記の試料1, 2, 3について説明すると、それぞれ光ファイバ素線は外径125 $\mu$ m、モードフィールド径6.2 $\mu$ m、カットオフ波長1.28 $\mu$ mのものを用い、そのコアに対し、比屈折率差 $\Delta$ が0.9%になる程度の量のGe と15000ppmのSn と1000ppmのAl とを共ドーピングした。そして、試料1は、この光ファイバ素線に対し通常の紫外線硬化型樹脂の透過率に比べ250nm付近の透過特性が10倍以上となるように設定した紫外線透過型樹脂により一次被覆層4を施した。また、試料2は、前記の光ファイバ素線のコアに対し高圧水素充填を施したものをを用い、この光ファイバ素線に対し試料1と同じ紫外線透過型樹脂により一

次被覆層 4 を施した。さらに、試料 3 は、試料 2 と同様にコアに対し高圧水素充填を施す一方、一次被覆層 4 を形成することなしにその光ファイバ素線のままで用いた。なお、前記の高圧水素充填は 200 MPa 程度の高圧水素を充填した密封容器中に 1 ～ 2 週間の範囲で一定期間封入することにより行った。

次に、前記の各試料 1, 2, 3 に対するフラッググレーティングの書き込みは YAG レーザの 4 倍波長である 266 nm, パルス幅 50 ns, 繰り返し周波数 10 Hz の紫外レーザ光源を用い、レーザー出射パワー 10 mW のレンズ系 6 で集光し位相マスク 5 を用いた位相マスク法により行った (図 1 参照)。なお、紫外線照射によるグレーティング 21 は、共に 10 mm のグレーティング長のものを形成した。

フラッググレーティングの書き込みの結果、前記の各試料 1, 2, 3 共に 1549 nm 付近を中心波長とするブラケットグレーティングが形成され、それらの反射率及び波長幅は表 1 の通りであった。

【表 1】

試料	一次被覆有無	水素処理	グレーティング長	反射率	波長幅
1	有	無	10mm	8%	0.10nm
2	有	有	10mm	80%	0.12nm
3	無	有	10mm	99%	0.15nm

表 1 によれば、一次被覆層 4 の外側から紫外レーザ光を照射した本発明の実施例である試料 1 及び 2 では波長幅が 0.10 nm 及び 0.12 nm となっており、これら試料 1 及び 2 では、水素処理 (高圧水素充填) の有無に拘らず、一次被覆層 4 を施さずに光ファイバ素線に対し紫外線レーザ光を照射した試料 3 の 0.15 nm と比較しても波長幅は広がってはならず、このため、紫外レーザ光を一次被覆層 4 の外側から照射しても、コア 2 に対しグレーティングの書き込みが有効に行われていると考えられる。特に水素処理を施さなかった試料 1 においても、反射率が 8 % と若干劣りはす

るものの一次被覆層 4 の外側からの紫外線照射によってグレーティングの書き込みが有効に行われていると考えられる。なお、試料 1 の反射率が 8 % と低い値となったのは紫外レーザ光の照射時間が比較的短かったためと考えられる。

さらに、前記の試料 1 及び 2 に対し所定の負の線膨張係数を有する樹脂により 2 次被覆層 7 をそれぞれ施したものを、 $-20^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$  の範囲で  $10^{\circ}\text{C}$  ずつ温度変化を与えて歪み量の測定と、最大反射波長帯域の中心波長の変化（シフト）とを調べた。具体的な試験方法は、有効心線長  $100\text{m}$  の光ファイバ心線 1' を恒温室に入れ、入力端から変調周波数  $500\text{MHz}$  により周波数変調した変調光を入力する一方、出力端からの出力光の位相を測定した。そして、入力光と出力光との位相変化量から前記歪み量を求めた。

その結果、図 7 に示すように前記  $-20^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$  の範囲の温度変化量を受けても、線膨張係数にして  $1\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  の変化に止まり、温度変化に対する中心波長のシフトも極めて小さいものに抑制することができた。

なお、前記の試料 1, 2 の一次被覆層 7 の形成に用いた紫外線透過樹脂についてその透過特性について調べた結果を図 8 に示す。これは、 $20\mu\text{m}$  の層厚にした前記紫外線透過樹脂について各波長に対する吸収量を調べたものであり、図 8 に実線で示すようにグレーティングの書き込みに用いられる  $240\text{nm} \sim 270\text{nm}$  の波長域では極めて低い吸収量となってその波長域の紫外線を透過させている一方、 $240\text{nm}$  よりも短い波長域の紫外線を十分に吸収して硬化反応の促進が図られていることが分かる。

### <試験例>

$G_e$  のドーピング量を通常濃度にしつつも  $S_n$  等を共ドーピングすることにより、反射率の増大が図られることの確認を行った。

すなわち、通常仕様の濃度の  $G_e$  と  $S_n$  とを共ドーピングしたコアに対しグレーティングを書き込んだ本発明の実施例としての試料 4 と、通常仕様の濃度で  $G_e$  のみをドーピングしたコアに対しグレーティングを書き込んだ試料 5 と、通常仕様よりも高濃度の  $G_e$  のみをドーピングしたコアに対しグレーティングを書き込んだ試料 6 とを作成し



、反射率の性能比較を行った。

以下、具体的に前記の試料 4, 5, 6 について説明すると、それぞれ光ファイバ素線は外径  $125\ \mu\text{m}$ 、モードフィールド径  $6\ \mu\text{m}$ 、カットオフ周波数  $1.3\ \mu\text{m}$  程度のものを用い、そのコアに対し、試料 4 については光ファイバ素線の比屈折率差  $\Delta$  が  $0.9\%$  になる程度の量の Ge と  $10000\ \text{ppm}$  の Sn とを共ドーブし、比屈折率差  $\Delta$  を  $1.0\%$  とした。試料 5 については比屈折率差  $\Delta$  が  $0.9\%$  になる程度の量の Ge のみを、試料 6 については比屈折率差  $\Delta$  が  $2.0\%$  になる程度の量の Ge のみをそれぞれドーブした。

また、前記の各コアに対し高圧水素充填を施したものと、施さないもの（水素未処理）との 2 種類を用意し、水素未処理と高圧水素充填との比較をも行った。従って、試料 4, 5, 6 の水素未処理のものをそれぞれ E-1, N-1, H-1 とし、試料 4, 5, 6 の高圧水素充填のものをそれぞれ E-2, N-2, H-2 とする。なお、前記の高圧水素充填は  $200\ \text{MPa}$  程度の高圧水素を充填した密封容器中に  $1\sim 2$  週間の範囲で一定期間封入することにより行った。

これら試料の E-1, 2, N-1, 2, H-1, 2 の各光ファイバ素線に対するグレーティングの書き込みは、第 1 試験例と同様に YAG レーザの 4 倍波長である  $266\ \text{nm}$ 、パルス幅  $50\ \text{ns}$ 、繰り返し周波数  $10\ \text{Hz}$  の紫外レーザ光源を用い、レーザ出射パワー  $10\ \text{mW}$  のレンズ系 6 で集光し位相マスク 5 を用いた位相マスク法により照射時間を種々変化させて行った（図 1 参照）。なお、この際、試料 E-1, N-1 及び H-1 についてはグレーティング長がそれぞれ  $0.3\ \text{mm}$  のグレーティングを形成し、試料 E-2, N-2 及び H-2 についてはグレーティング長が  $2.0\ \text{mm}$  のグレーティングを形成した。

前記の 3 種類のドーブの違いと、高圧水素充填の有無による 6 種類の試料 E-1, N-1, H-1, E-2, N-2, H-2 についての紫外光の照射時間に対する反射率特性を図 9 に示す。

この図 9 に基づいて水素未処理のものについて比較すると、Ge に加え Sn を共ドーブした試料 E-1 では照射時間の増加と共に反射率が増大し  $40\ \text{分}\sim 50\ \text{分}$  の照射

時間ではほぼ70%の反射率に到達したのに対し、通常濃度のG<sub>e</sub>のみをドーブした試料N-1では照射時間の増加と共に反射率が增大するものの40分～50分の照射時間で30%前後の反射率までしか到達せず、また、高濃度のG<sub>e</sub>のみをドーブした試料H-1では照射時間の増加と共に反射率が增大し40分～50分の照射時間でほぼ75%の反射率に到達した。

従って、高圧水素充填を施さなくても、試料E-1では通常濃度のG<sub>e</sub>に加えS<sub>n</sub>を共ドーブすることにより、通常濃度のG<sub>e</sub>のみをドーブした試料N-1と比べ大幅に反射率を増大させることができる上に、比屈折率差で2.0%と高濃度のG<sub>e</sub>をドーブした試料H-1とほぼ同等の高反射率を得ることができた。

また、高圧水素充填のものについて比較すると、試料E-2では照射の開始直後から反射率が急激に増大し数分の照射時間で95%以上の反射率に到達したのに対し、通常濃度のG<sub>e</sub>のみをドーブした試料N-2では照射時間の増加と共に反射率が增大するものの30分以上の照射時間が経過しないと95%程度の反射率には到達せず、また、高濃度のG<sub>e</sub>のみをドーブした試料H-2では前記試料E-2よりも僅かに劣るものの試料E-2とほぼ同様の傾向を示した。

従って、高圧水素充填を施した場合であっても、試料E-2では通常濃度のG<sub>e</sub>に加えS<sub>n</sub>を共ドーブすることにより、高濃度のG<sub>e</sub>をドーブした試料H-2とほぼ同等の高反射率を得ることができる上に、通常濃度のG<sub>e</sub>のみをドーブした試料N-2と比べ極めて短時間の紫外光の照射により95%以上という高反射率を得ることができた。

なお、前記の試料E-1及びE-2において、共ドーブするS<sub>n</sub>の濃度を前記の如く10000ppmではなく15000ppmにした場合においても、高反射率化の効果は10000ppmにした場合とほぼ同等であった。

以上説明したように、本発明におけるファイバグレーティングによれば、コア及びクラッドに対し被覆される被覆層を紫外線透過型樹脂により形成するようにしているため、前記被覆層の外側から紫外線を照射してもその紫外線が被覆層を透過してコアまで有効に照射されてそのコアに対しグレーティングを有効に書き込むことができる

。従って、グレーティングの書き込みが被覆層を除去することなしに可能であるため、被覆層の除去に伴う伝送特性の悪化を招くことなく、しかも、その被覆層除去の工程を省略して容易にファイバグレーティングの製造を行い得るようになる。

共ドーピングされた  $S_n$  によってコアの光誘起屈折率変化を通常濃度の  $G_e$  をドーピングしただけのコアと比べ定常的に増大させると、通常濃度の  $G_e$  をドーピングしただけのコアよりも反射率が増大したグレーティングの形成を行うことができる。しかも、 $G_e$  ドーピングの濃度が接続対象の光ファイバのコアと同等にしておくと、通常仕様の光ファイバと接続しても接続損失の増大を招くこともない。

また、高圧水素充填を行わなくても、 $G_e$  および  $S_n$  の共ドーピングによって反射率の増大が定常的に得られるため、高圧水素充填を行った場合のグレーティングの形成期間に対する制限を受けることもない。

前記第2次被覆層を設けることによって、温度変化に対する安定性の向上、ひいては機械的強度特性の安定化をはかることができる。これにより、ファイバの伸縮に起因する反射波長のシフトの防止・抑制を図り、確実に同じ反射機能の維持をはかることができるので、信頼性が向上する。

## 【第2の実施形態】

本実施形態にかかるファイバグレーティングも、基本的には、図1に示す構成を有している。ただ、本実施形態における被覆層4は、光ファイバ素線1'の線引き工程に引き続いてシングルコートにより少なくとも  $30\mu\text{m}$  程度の膜厚になるように形成されている点に特徴を有する。この被覆層4の材料としては、前述のように、紫外線を透過する特性を有する紫外線透過型の樹脂が用いられる。

本実施形態でも、光ファイバ心線1の外側、つまり、被覆層4の外側から紫外線を照射することによって、コア2にグレーティング21の書き込みを行う。このグレーティング21の書き込みは周知の種々の方法を採用して行えばよい。位相マスク法により行う場合には、図10に作製装置の例を示すように前記光ファイバ心線1の側方直前に格子状の位相マスク5を配設する。そして、この位相マスク5に対し、固体レ

ーザであるNd-YAGレーザ源6を用いて、その4倍波長（ $4\omega$ ）である266nmのコヒーレント紫外レーザ光をシリンドリカルレンズ系7により集光した状態で照射すればよい。これにより、前記紫外レーザ光が位相マスク5及び被覆層4を透過し、前記コア2に対し前記位相マスク5の格子ピッチに対応したグレーティングピッチの部分の屈折率が増大されてグレーティング21が書き込まれることになる。固体レーザによれば、ガスレーザなどに比べて空間的コヒーレンシーの高いレーザ光が得られる。空間的コヒーレンシーが高いと、位相マスク5とコア2との間隔が広がっても正確なパターン転写が実現できる。本発明のように、被覆層4で覆われた状態のコア2に対しレーザ光照射を行う場合、被覆層4の厚さの分だけコア2と位相マスク5との距離が離れるため、固体レーザの使用は非常に好ましい効果をもたらす。KrF等のガスレーザに比較して固体レーザの出力光強度は小さいため、上述のようにシリンドリカルレンズ系7等のレンズ系を用いて、レーザ光を集光することが好ましい。

図10中の参照符号「8」は紫外レーザ光を拡大して平行ビーム化するビームエキスパンダーを示し、「9」は前記の平行ビーム化された紫外レーザ光のパワーが均一の部分を切り出す微小幅のスリットを示している。「10」は前記光ファイバ心線1の長手方向（一点鎖線の矢印参照）に移動可能とされた可動式反射ミラー、「11」は光スペクトルアナライザ、「12」は光アイソレータ、「13」は光カプラを示している。

以下に、本実施形態におけるグレーティングの書き込み方法を詳細に説明する。

本実施形態では、前記紫外レーザ光の照射を、その照射エネルギー密度が $1.5 \sim 4.0 \text{ kJ/cm}^2$ 程度になるように行う。これにより、被覆層4の外側から紫外レーザ光の照射を行う場合に、その被覆層4がほぼ $30 \mu\text{m}$ 以上という膜厚を有していても、その被覆層4を透過してコア2に対し高屈折率変調を生じさせて高反射率のグレーティング21を書き込みし得るようになる。

加えて、図11に示すように書き込み対象の光ファイバ心線1をシリンドリカルレンズ系7により集光される紫外レーザ光のビームパターンBPに対し特定の位置に位置付け、この状態で紫外レーザ光の照射を行うようにする。前記ビームパターンBP

はシリンドリカルレンズ系 7 に入射した平行ビームが焦点 F に向かうように集光されたものであり、このビームパターン B P に対し前記光ファイバ心線 1 の全体が前記ビームパターン B P の内部に位置し、かつ、その光ファイバ心線 1 の被覆層 4 の外周面が前記ビームパターン B P の外縁に内接するように前記光ファイバ心線 1 を位置付ける。なお、このような位置関係を満足すれば、前記光ファイバ心線 1 の配設位置は図 11 に実線で示すように焦点 F の前側であると、同図に一点鎖線で示すように焦点 F の後側であるとを問わない。一例を示すと、焦点距離  $L_1$  が 100 mm の場合に、外径  $200\ \mu\text{m}$  の光ファイバ心線 1 を焦点 F からほぼ 2 mm の距離  $L_2$  だけ離れた光軸上に配設すればよい。光ファイバ心線 1 の全体を前記ビームパターン B P の内部に位置付けることにより、前記の被覆層 4 の全体に対し均一な照射エネルギー密度で紫外レーザー光を照射することができるようになる。その上に、前記光ファイバ心線 1 を焦点 F 側に対しより近づけた位置に配設した場合に生じ易い被覆層 4 の局部的なダメージ（強度劣化）発生等を防止し、かつ、このような強度劣化の発生を防止し得る範囲で最も照射エネルギー密度が高くなる位置において前記光ファイバ心線 1 に対する照射を行うことができ、グレーティングの書き込みに要する時間の短縮化をはかることができる。

## ＜実施例 2＞

前記実施形態の作製方法により作製したファイバグレーティングについて伝送特性及び機械的強度特性を確認した。伝送特性については特定波長の光に対する反射率、半値全幅及びサイドローブを、機械的強度特性についてはファイバグレーティング部分の疲労係数、破断強度及び被覆層 4 のヤング率変化を測定・試験した。

### －供試体－

（供試体の仕様）

試験に用いた光ファイバ心線 1 の仕様を表 2 に示す。

【表 2】

比屈折率差 $\Delta$ (96)	0.97
S n 濃度 (ppm)	15000
A l 濃度 (ppm)	900
モードフィールド径 ( $\mu\text{m}$ )	5.55
カットオフ波長 (nm)	1270
クラッド径 ( $\mu\text{m}$ )	125
被覆外径 ( $\mu\text{m}$ )	200

VAD法と液浸法との併用により通常濃度のGeに対し15000ppmのSnと900ppmのAlとを共ドーブしたコアガラスを作製し、この周囲にクラッドガラスをコラプスしたファイバ母材を線引きして光ファイバ素線1' (図12参照) とし、引き続いてこの光ファイバ素線1' に対しシングルコートにより紫外線透過型の紫外線硬化樹脂を用いて膜厚37.5 $\mu\text{m}$ の被覆層4を形成して光ファイバ心線1を作製した。この光ファイバ心線1の比屈折率差 $\Delta$ は0.97%、モードフィールド径は5.55 $\mu\text{m}$ 、カットオフ波長は1270nm、クラッド径(光ファイバ素線1' の外径)は125 $\mu\text{m}$ 、被覆外径(光ファイバ心線1の外径)は200 $\mu\text{m}$ である。そして、この光ファイバ心線1を20MPaの高圧水素を充填した密封容器中に約2週間封入することにより前記光ファイバ心線1に対する高圧水素充填を行った。

#### (Sn共ドーブによる反射特性試験)

コア2に対しGeのドーブ量を通常濃度にしつつもSnを共ドーブすることにより光誘起屈折率変化の増大が生じることを、書き込まれたグレーティングの反射率が增大することにより確認した。なお、このコア2に対し水素の高圧充填の有無による反射率の相違も併せて確認した。また、本試験では被覆層4を除去した状態で紫外レーザ光を照射することによりグレーティングの書き込みを行った。

コア2に対し通常仕様の濃度(光ファイバ素線の比屈折率差 $\Delta$ が0.9%になる程度の量)のGeと10000ppmのSnとを共ドーブした試料E-1と、これに対しさらに前記の高圧水素充填を施した試料E-2と、前記コア2に対し通常仕様の

濃度でG e のみをドーブした試料N-1と、これに対しさらに高圧水素充填を施した試料N-2と、前記コア2に対し通常仕様よりも高濃度（比屈折率差 $\Delta$ が2.0%になる程度の量）のG e のみをドーブした試料H-1と、これに対しさらに高圧水素充填を施した試料H-2とを作成し、反射率の性能比較を行った。

前記の6種類の試料E-1, N-1, H-1, E-2, N-2, H-2についての紫外光の照射時間に対する反射率特性は、図9に示すとおりであった。

#### （被覆材料の吸光特性試験）

被覆層4を形成した樹脂の紫外線照射エネルギー密度に対する吸光度の変化を確認した。前記樹脂と同一材料により厚み60 $\mu$ mのシートを形成し、このシートに対し同一の照射条件で照射エネルギー密度（単位： $\text{kJ}/\text{cm}^2$ ）のみ「0」, 「1.5」, 「9.0」の3種類に変化させて紫外線を照射した場合の波長に対する吸光度の変化を測定した。その結果を図13に示す。

図13において、D0は照射エネルギー密度が「0」、すなわち、紫外線の非照射の場合、D1は照射エネルギー密度が「1.5」の場合、D2は照射エネルギー密度が「9.0」の場合をそれぞれ示す。

前記図13によると、波長250~300nmの範囲では前記のD0, D1, D2は共に吸光度が1.0近傍であり、照射エネルギー密度がD1の「1.5」及びD2の「9.0」とかなり高い場合でも波長270nm付近は1以下と良好であった。従って、被覆層4の外側から後述の如く波長266nmの紫外レーザ光を照射しても、その光入射エネルギーを減衰させずに透過しコア2に対し前記紫外レーザ光を照射させ得る。

#### —作製装置の仕様—

紫外線光源として、最大平均パワーが100mW、パルス幅が50ns、パルス周波数が10HzのNd-YAGレーザ源6（図10参照）を用いた。このNd-YAGレーザの4倍波長である266nmの紫外レーザ光を光ファイバ心線1に対し被覆層4上で照射エネルギー密度が1.5 $\text{kJ}/\text{cm}^2$ となるように照射した。その際、図11に示すようなビームパターンBP内に対し光ファイバ心線1を被覆層4の外周

面が内接することになる位置に配設した。この場合の位相マスク 7 上に入射される平均パワーは 10 mW、外径 200  $\mu$ m の光ファイバ心線 1 に照射される紫外線光の寸法は約 2 mm (ファイバ軸方向)  $\times$  約 0.2 mm (ファイバ径方向) である。前記位相マスク 7 としては格子ピッチが 1065 nm、長さが 25 mm のものを用いた。そして、可動式ミラー 10 を滑らかに連続して前記ファイバ軸方向 (長手方向) に移動させて軸方向に 24 mm の長さのグレーティング 21 の書き込みを行った。

#### －伝送特性－

作製されたファイバグレーティングの反射スペクトルを測定した。その結果を図 14 に示す。この図 14 によれば、中心波長 1544.6 nm において最大反射率が 99% 以上、半値全幅 (FWHM) が 0.14 nm、サイドローブも中心波長域で 25 dB 以上抑制され、優れた伝送特性が実現されている。

#### －機械的強度特性－

##### (破断強度)

同一条件で作製した多数のファイバグレーティングについて破断強度を測定した。その結果のワイブル分布を図 15 に示す。なお、測定時の試験室の温度は 22℃、湿度は 50% RH に制御した。また、引っ張り条件はゲージ長さを 100 mm、引っ張り速度を 100 mm/min とした。

前記の図 15 によれば、破断強度の最大値は 5.42 GPa、最小値は 4.40 GPa、平均値は 4.90 GPa であり、ファイバグレーティングの接続対象である通常の通信用光ファイバ心線とほぼ同等の破断強度を有している。

##### (疲労係数)

グレーティング 21 の形成前と形成後、すなわち、紫外レーザ光の照射前と照射後との供試体について、前記の破断強度の測定における引っ張り速度を 3 水準に変化させることにより動疲労特性を評価して疲労係数 (n 値) を求めた。

その結果、表 3 に示すようにグレーティング形成前の疲労係数は 2.3、グレーティング形成後の疲労係数は 2.0 であった。



【表 3】

	疲労係数
グレーティング形成前	23
グレーティング形成後	20

グレーティングの形成により疲労係数は23から20へとわずかに低下して破断に至るまでの期間がわずかに短くなるものの、グレーティング形成後であっても実用上何ら問題のない疲労係数を有している。なお、前記のファイバグレーティングの接続対象である通常の通信用光ファイバ心線の疲労係数は23～24程度である。

（被覆層4のヤング率変化）

照射時間を0分、20分、50分にして照射エネルギー密度（単位： $\text{kJ}/\text{cm}^2$ ）を「0」、「3.0」、「7.5」とした場合の被覆層4のヤング率の変化を測定した。具体的には、前記の各場合におけるファイバグレーティング作製後の供試体の紫外レーザ光が照射された部位の被覆層4を照射方向に対し前面側と後面側とに2分割されるようにファイバ軸方向に切断し、半円筒形状の照射前面側被覆片4a（図12参照）と、照射後面側被覆片4bとの試料を作製した。そして、これらの両被覆片4a、4bを前記ファイバ軸方向にゲージ長さ15mm、引っ張り速度1mm/minで引っ張り、2.5%伸長時の引っ張り力からヤング率を求めた。この結果を表4に示す。

【表 4】

照射時間(min)		0	20	50
照射エネルギー密度( $\text{kJ}/\text{cm}^2$ )		0	3.0	7.5
ヤング率(MPa)	照射前面	459	540	601
	照射後面	459	533	540

表4によると、照射前面側被覆片4aのヤング率は、紫外レーザ光の未照射状態の459MPaから3.0kJ/cm<sup>2</sup>の照射エネルギー密度で照射することにより540MPaまで増大し、7.5kJ/cm<sup>2</sup>の照射エネルギー密度で照射することにより601MPaまで増大するというように、それぞれ17.7%、30.9%の増大を生じた。一方、照射後面側被覆片4bのヤング率は、紫外レーザ光の未照射状態の459MPaから3.0kJ/cm<sup>2</sup>の照射エネルギー密度で照射することにより533MPaまで増大し、7.5kJ/cm<sup>2</sup>の照射エネルギー密度で照射することにより540MPaまで増大し、それぞれ16.1%、17.7%の増大に止まった。従って、被覆層4のヤング率の増大変化度合いは照射エネルギー密度の大小に依存し、照射時間の経過に伴う照射エネルギー密度の増大に従ってヤング率が増大している。しかも、そのヤング率の増大は照射エネルギー密度がより高い照射前面側の被覆層4においてより大きく進行している。

ここで、被覆層4のヤング率があまり増大すると硬くなって光ファイバ心線1の柔軟性を阻害する傾向になる。そして、硬くなる程、被覆層4が脆くなって強度特性としては悪化する。一般に、被覆層4のヤング率の増大度合いとして、安全側に見込んでも20%の範囲内であれば光ファイバ心線として実用上何ら問題はないとされており、前記実施例における照射エネルギー密度が1.5kJ/cm<sup>2</sup>程度であれば被覆層4のヤング率増大度合いは全く問題がなく、十分に柔軟性を保持して良好な強度特性を発揮することができる。また、照射エネルギー密度が3.0kJ/cm<sup>2</sup>であっても、最も大きい変化を示す照射前面側でもヤング率の増大は17.7%に止まり、十分な柔軟性と強度特性を有しているといえる。特に、照射エネルギー密度が高い程、より高い屈折率変調を生じさせてより高い反射率のグレーティング形成が行い得ることから、被覆層4の膜厚を前記実施例の37.5μmよりも分厚くしても、優れた伝送特性と、より高い機械的強度特性とを合わせ持つファイバグレーティングの作製を行うことができる。前記照射前面側被覆片4aについて、前記の安全側の基準である20%というヤング率の増大度合いに相当する照射エネルギー密度を前記表3から比例配分により求めると3.8kJ/cm<sup>2</sup>となり、被覆層4の柔軟性という観点か

らはほぼ  $4.0 \text{ kJ/cm}^2$  の照射エネルギー密度までは照射可能であると考えられる。

(被覆層 4 の表面性状)

光ファイバ心線 1 を図 11 に示す位置に位置付けた状態で紫外レーザ光を  $1.5 \text{ kJ/cm}^2$  の照射エネルギー密度で照射した場合の被覆層 4 の表面性状について目視により観察した。その結果、黄変やダメージも全くなく良好な状態であった。

—ファイバグレーティングの温度特性、張力特性—

(温度特性)

作製されたファイバグレーティングを用いて中心波長の温度依存性及び張力依存性を調べた結果を図 16 及び図 17 に示す。

これによると、温度変化もしくは張力変化に対応して中心波長はリニアにシフト（変化）し、温度依存性については図 16 より  $0.011 \text{ nm/}^\circ\text{C}$ 、張力依存性については図 17 より  $1.3 \text{ nm/N}$  という結果が得られた。しかも、張力依存性については  $40 \text{ N}$  までの繰り返しの張力印加しても、中心波長のシフトの再現性は良好であった。従って、温度センサもしくは張力センサとしての用途にも好適となる。

以上説明したように、本発明の第 2 の実施形態によれば、高反射率の優れた伝送特性と、被覆層の膜厚を接続対象の光ファイバ心線と同等の機械的強度特性との双方を共に有するファイバグレーティングを得ることができる。加えて、ガラス部分及び被覆層に対する紫外線照射に伴う強度劣化を最小限に抑制して前記の機械的強度特性を保持することができる。従って、紫外線照射後の補完的な処理を必要とすることなく伝送特性と機械的強度特性との両立をはかることができ、生産効率の向上をはかることができる。

また、被覆層にダメージを与えることなく所定の照射密度で均一に照射することができ、加えて、書き込み対象の光ファイバ心線をその被覆層の外周面が前記ビームパターンの外縁に内接する位置に配設することにより、被覆層のダメージを回避し得る範囲で最も高い照射密度の紫外線を照射することができ、グレーティングの書き込み処理の短時間化、ファイバグレーティング作製の効率化をはかることができる。

### 【第3の実施形態】

位相マスク法によれば、必要となる波長特性に対応した位相マスクを用意し、その位相マスクを介して光ファイバに紫外線を照射することによって、ファイバグレーティングの波長特性を所要のものに制御する。また、紫外線照射によるグレーティングの書き込み後に、そのグレーティングが書き込まれたファイバグレーティングに対しファイバ軸方向に張力を印加させて引っ張りひずみが残留したままの状態にすることにより、書き込み時のグレーティングピッチを長波長側にシフトさせる方法が知られている（宇野弘幸他，”引っ張りひずみによるファイバグレーティングの波長変化”，1998年電子通信情報学会総合全国大会，C-3-123，289頁，1998年3月参照）。つまり、グレーティングピッチの長波長側シフトによって、そのグレーティングにより反射される波長（反射ピーク波長）がより長波長側にシフトさせることが可能になる。

ところが、前記のグレーティング書き込み後の張力印加の場合には、引っ張り側のひずみを与えるものであるため、波長特性の制御として書き込み時のグレーティングピッチを長波長側にシフトさせることは可能であるものの、書き込み時のグレーティングピッチを短波長側にシフト制御することはできないという決定的な不都合がある。

しかも、前記の波長特性を長波長側へシフトさせる方法においては、その波長シフトを維持するために例えば接着固定等の手段によりファイバグレーティングを引っ張りひずみが残留したままの状態に固定する必要がある、前記の各種用途に適用する際の装置構成に制限が生じることになる。

加えて、張力の印加を、光ファイバに対し損傷を与えない手段・方法により行う必要がある上に、試験設備としてではなくて大量生産を可能とする手段・方法により行う必要がある。

また、紫外線照射によるグレーティングの書き込みはその紫外線照射により光ファイバのコアに光誘起屈折率変化を生じさせて屈折率変調縞を生成するものであるため、紫外線を照射する対象の光ファイバはそのコアにおける有効な光誘起屈折率変化を

確保する観点から紫外線を照射する部位の被覆層を除去した状態にされるのが通常である。このため、被覆層無しのコア及びクラッドからなる光ファイバ素線に対しグレーティングを書き込み、その書き込み後に張力を印加するという従来の方法においては、その印加張力として前記光ファイバ素線に破断のおそれが生じない程度の印加張力値（引っ張り荷重値）を上限とする必要がある。ここで、前記光ファイバ素線の場合、その伸び量が概略1%を超えると通常は破断することになるため、伸び量が1%未満の低張力領域での張力印加に止まる。この結果、長波長側へのシフトもそれに対応して微小なものしか期待できなくなる。この点について、通常の光ファイバ素線の場合の伸び量1%に対応する引っ張り荷重値は略1kgであり、前記のグレーティング書き込み後の張力印加による方法が記載された文献によれば0.5kgに対し波長シフト量が5.4nmと極めて小さいものであることが報告されている。加えて、引っ張り荷重の値の増大に略比例して波長シフト量が増大する点も示されている。

また、通常の光ファイバの製造においては、製造された光ファイバに対し機械的特性についてのスクリーニング試験が通常行われている。ところが、ファイバグレーティングにおいては、波長特性等の伝送性能についての検査方法はほぼ確立されているものの、強度等の機械的特性についての検査方法は未だ確立されていない現状がある。ここで、紫外線照射系等を備えたファイバグレーティング作製装置を用いて作製されたファイバグレーティングに対し、前記の通常の光ファイバに対するスクリーニング試験装置を用いてスクリーニング試験を実施することも考えられる。しかし、この場合にはファイバグレーティングの作製と、スクリーニング試験とが個別に行われることになり工程及び作業が煩雑になる。

以下に説明する発明は、張力印加方式を用いて波長特性の短波長側へのシフト制御が可能にする。加えて、高張力印加を可能として波長特性のシフト量の増大化、及び、波長特性の制御範囲の拡大化をはかること、ファイバグレーティングの作製後にそのスクリーニング試験による機械的特性の検査をも同じ作製装置により一連の工程により行い得るようにすること、前記波長特性のシフト（波長制御）を用いたファイバグレーティングの作製装置として大量生産に適したものを提供する。

以下、本発明の実施形態を図面に基いて説明する。

まず、図18を参照しながら、光ファイバ心線1を用いて波長特性のシフト制御を行うファイバグレーティング作製装置を説明する。なお、紫外線照射によるグレーティング21の書き込み自体は周知の種々の方法を採用して行えばよい。図18は、位相マスク法により行う場合を例にとって示したものである。

図18のファイバグレーティング作製装置は、光ファイバ心線1の側方直前に格子状の位相マスク5を配設し、この位相マスク5に対しNd-YAGレーザ源6から例えばその4倍波長（ $4\omega$ ）である266nmのコヒーレント紫外レーザ光をシリンドリカルレンズ系7により集光した状態で照射するようになっている。これにより、前記紫外レーザ光が位相マスク5及び被覆層4を透過し、前記コア2に対し前記位相マスク5の格子ピッチに対応したグレーティングピッチの部分の屈折率が増大されてグレーティング21が書き込まれることになる。なお、図18中の参照符号「8」は、紫外レーザ光を拡大して平行ビーム化するビームエキスパンダー、「9」は前記の平行ビーム化された紫外レーザ光のパワーが均一の部分を切り出す微小幅のスリット、「10」は前記光ファイバ心線1のファイバ軸方向（一点鎖線の矢印参照）に移動可能とされた可動式反射ミラーである。

位相マスク5、Nd-YAGレーザ源6、シリンドリカルレンズ系7、ビームエキスパンダー8、スリット9、及び、可動式反射ミラー10によって紫外線照射系が構成されている。また、参照符号「11」は、光スペクトラムアナライザ、「12」は光アイソレータ、「13」は光カプラであり、作製されたファイバグレーティングの波長特性を検査するための装置部分である。

本実施形態では、光ファイバ心線1に対しファイバ軸方向の張力を印加する張力印加機構30が付加されている。この張力印加機構30、その詳細を図19に示すように、光ファイバ心線1の紫外線照射部位を囲むようにして配設されたフレーム31と、このフレーム31から前記光ファイバ心線1のファイバ軸方向両側にそれぞれ突出された一対のアーム部材32、33と、各アーム部材32、33の先端に支持された一対の固定手段としての巻胴34、35と、ファイバ軸方向一侧（図19の右側）の

巻胴 35 を回転駆動するモータ 36 (図 20 参照) とを備えたものである。

前記フレーム 31 は、少なくとも光ファイバ心線 1 の側方部分 (図 19 の上方部分) に紫外レーザ光が通過し得る開口部 311 を有し、前記一对のアーム部材 32, 33 を保持し得るものであればその形状等についての制約はない。前記各アーム部材 32, 33 は、L 字状に形成され、一端が前記フレーム 31 に固定される一方、他端に前記巻胴 34, 35 が連結されている。前記各巻胴 34, 35 は巻胴本体を構成するマンドレル 341, 351 と、それぞれの両側に配設された一对の鏝部 342, 352 とから構成されている。ファイバ軸方向一侧 (図 19 の右側) の巻胴 34 がアーム部材 33 に対しファイバ軸方向に直交する方向に配置された軸 Y の回りに回転可能に連結される一方、ファイバ軸方向他側 (図 19 の左側) の巻胴 34 がアーム部材 32 に対し相対回転しないように固定されている。また、前記モータ 36 はパルスモータにより構成され、その出力軸が前記マンドレル 351 に対し直結もしくは連結部材を介して接続されている。前記モータ 36 は図示省略のコントローラからの制御信号を受けて設定回転量だけ前記マンドレル 351 を強制回転させるようになっている。

次に、前記ファイバグレーティング作製装置を用いてファイバグレーティングを作製する方法について説明する。

ファイバグレーティングを作製するには、張力印加工程と、照射工程と、張力解放工程と、スクリーニング工程とを順に行う。すなわち、張力印加工程として、まず、グレーティング 21 の書き込み予定部位を挟んだ両側位置の光ファイバ心線 1 を巻胴 34, 35 のマンドレル 341, 351 の外周面に対し互いに重ならないように二重もしくは三重 (図 20 参照) に巻き付けて光ファイバ心線 1 を一直線状に延ばした状態にセットする。これにより、前記各巻胴 34, 35 のマンドレル 341, 351 の外周面と光ファイバ心線 1 の外表面との間の摩擦抵抗によって光ファイバ心線 1 が前記各マンドレル 341, 351 の外周面に対しファイバ軸方向に相対移動しないように固定する。次に、モータ 36 を作動させてマンドレル 351 を設定回転量だけ強制回転させ、この状態を保持させる。これにより、一对のマンドレル 341, 351 の間の光ファイバ心線 1 は前記マンドレル 351 の強制回転量に対応する周長だけファイ

バ軸方向に強制的に延ばされて、つまり、張力が印加されてコア 2 に引っ張り側の弾性ひずみ（伸びひずみ）が生じた状態となり、この状態で次の照射工程が行われる。

前記照射工程として、まず、前記位相マスク 5 が前記光ファイバ心線 1 のグレーティング 2 1 の書き込み予定部位に対しセットされ、この位相マスク 5 のファイバ軸方向の一端側から他端側までの範囲にわたり紫外線照射系からの紫外レーザ光が前記位相マスク 5 を介して光ファイバ心線 1 に対し照射される。前記のファイバ軸方向範囲における紫外レーザ光の照射位置の変更は反射ミラー 1 0 のファイバ軸方向に対する移動により行われる。そして、この紫外レーザ光の照射により前記の伸びひずみが生じた状態のコア 2 に対し前記位相格子 5 の格子ピッチに対応したグレーティングピッチのグレーティング 2 1 が書き込まれることになる。

この照射工程によりグレーティング 2 1 の書き込みが行われた後、張力解放工程が行われ、この張力解放工程において、前記モータ 3 6 が前記の設定回転量だけ逆回転作動されて光ファイバ心線 1 が張力印加前の元の状態に復元されて無負荷状態になる。これにより、前記のコア 2 に生じていた伸びひずみが元の状態に復元、つまり収縮され、この収縮に伴い前記の書き込まれたグレーティング 2 1 のグレーティングピッチが狭められることになる。このため、グレーティング 2 1 の波長特性が前記のグレーティングピッチの狭くなった分だけ短波長側にシフトされる。

以上でファイバグレーティングの作製自体は終了するが、本実施形態では、引き続いてスクリーニング工程が行われる。すなわち、このスクリーニング工程においては、張力印加機構 3 0 のモータ 3 6 を作動させることによりファイバグレーティングに対しファイバ軸方向に一定の伸びひずみを所定時間与え、機械強度特性についてのスクリーニング試験を実施する。そして、欠陥のあるファイバグレーティングを製品から排除し、欠陥のないファイバグレーティングを製品とするようにする。これにより、ファイバグレーティングの作製において、波長特性をシフト制御したグレーティング 2 1 の形成と、このようなグレーティング 2 1 が形成されたファイバグレーティングのスクリーニングとの双方が、同じ作製装置において一連の工程により行うことができる。従って、本ファイバグレーティング作製装置及び作製方法によりファイバグ



レーティングの大量生産に好適なものが提供されることになる。

前記の張力印加工程、照射工程及び張力解放工程による波長特性の短波長側へのシフト制御においては、グレーティング 2 1 を書き込む対象として被覆層 4 が形成された光ファイバ心線 1 を用いているため、張力印加工程で印加する張力として被覆層 4 の除去された光ファイバ素線 1' を対象とする場合と比べて大幅に高い値にすることができる。このため、前記照射工程を高張力が印加された状態、すなわち、コア 2 に大きな伸びひずみが生じた状態で行うことができ、その分、張力解放工程によるコア 2 の収縮量、つまりグレーティングピッチを狭くし得る度合いを大きくすることができる。従って、張力解放工程後のファイバグレーティングの波長特性の短波長側へのシフト量を極めて大きなものにすることができ、短波長側へのシフト制御を極めて広い波長範囲にわたり行うことができるようになる。

なお、実際の波長特性のシフト制御（波長制御）においては、印加張力と短波長側への波長特性のシフト量との関係を予め試験により求めておき、この関係に基づいてシフト制御する波長のシフト量に対応した印加張力を設定し、この印加張力が光ファイバ心線 1 に発生するようにモータ 3 6 の設定回転数を定めればよい。

また、以上のファイバグレーティング作製方法において、被覆層 4 の上からの紫外レーザ光の照射によるグレーティング 2 1 の書き込みをより確実なものとするために、紫外レーザ光の照射を以下のようにしてもよい。

すなわち、前記紫外レーザ光の照射を、その照射エネルギー密度が  $1.5 \text{ kJ/cm}^2$  程度になるように行う。これにより、被覆層 4 の外側から紫外レーザ光の照射を行う場合に、その被覆層 4 がほぼ  $30 \mu\text{m}$  以上というかなり厚肉の膜厚を有していても、その被覆層 4 を透過してコア 2 に対し高屈折率変調を生じさせて高反射率のグレーティング 2 1 を書き込みし得るようになる。

加えて、図 1 1 に示すように書き込み対象の光ファイバ心線 1 をシリンドリカルレンズ系 7 により集光される紫外レーザ光のビームパターン B P に対し特定の位置に位置付け、この状態で紫外レーザ光の照射を行うようにする。前記ビームパターン B P はシリンドリカルレンズ系 7 に入射した平行ビームが焦点 F に向かうように集光され

たものであり、このビームパターンBPに対し前記光ファイバ心線1の全体が前記ビームパターンBPの内部に位置し、かつ、その光ファイバ心線1の被覆層4の外周面が前記ビームパターンBPの外縁に内接するように前記光ファイバ心線1を位置付ける。なお、このような位置関係を満足すれば、前記光ファイバ心線1の配設位置は図11に実線で示すように焦点Fの前側であると、同図に一点鎖線で示すように焦点Fの後側であるとを問わない。一例を示すと、焦点距離L1が100mmの場合に、外径200 $\mu$ mの光ファイバ心線1を焦点Fからほぼ2mmの距離L2だけ離れた光軸上に配設すればよい。光ファイバ心線1の全体を前記ビームパターンBPの内部に位置付けることにより、前記の被覆層4の全体に対し均一な照射エネルギー密度で紫外レーザ光を照射することができるようになる。その上に、前記光ファイバ心線1を焦点F側に対しより近づけた位置に配設した場合に生じ易い被覆層4の局部的なダメージ（強度劣化）発生等を防止し、かつ、このような強度劣化の発生を防止し得る範囲で最も照射エネルギー密度が高くなる位置において前記光ファイバ心線1に対する照射を行うことができ、グレーティングの書き込みに要する時間を短縮することができる。

上記実施形態では、張力印加機構における張力の印加を一方の巻胴35をアーム部材33に対し回転可能に支持し、その巻胴35をモータ36により強制回転させることにより行っているが、これに限らず、両巻胴34、35をアーム部材32、33に対し共に回転しないように固定し、一方のアーム部材33の一端部331を図19に一点鎖線により示すようにフレーム31に対しファイバ軸方向に移動可能に案内・支持させ、このアーム部材33を例えばラック及びピニオン等の伝達機構とモータの組み合わせ、又は、流体圧シリンダ等のアクチュエータによって図19の右側に強制移動させるように装置を構成することにより光ファイバ心線1に対し張力を印加させるようにしてもよい。

以上説明したように、本発明の第3の実施形態によれば、従来のグレーティング書き込み後に張力を印加した状態に保持する張力印加方法では実現し得なかった波長特性の短波長側へのシフト制御が可能になる。また、前記短波長側にシフトされたファ

ファイバグレーティングの波長特性が安定的に得られることになる。その上に、前記の従来の張力印加方法と比べ、グレーティング書き込み後の光ファイバを個別に張力印加状態に保持する必要がなく、取扱に優れる上に張力印加により波長制御されるファイバグレーティングを容易に大量生産することができるようになる。

また、ファイバグレーティングの作製に用いる光ファイバとして、被覆層が形成された光ファイバ心線を用いることにより、印加し得る張力を被覆層なしの光ファイバ素線を用いる場合に比べ大幅に高くすることができ、これにより、波長特性の短波長側へのシフト量も大きくすることができ、波長制御を行い得る範囲を大幅に拡大させることができるようになる。

さらに、作製されたファイバグレーティングに対し所定の設定張力を印加することによりグレーティング書き込み部位についてのスクリーニング試験を行うというスクリーニング工程を続けて行うようにすることにより、前記波長制御されたグレーティング書き込み部位についての機械的特性、すなわち、強度や表面傷の有無等についての検査をもファイバグレーティングの作製と併せて行うことができるようになり、波長制御を伴うファイバグレーティングの大量生産システムとして好適なものとすることができる。また、本発明のファイバグレーティング作製装置を用いれば、照射工程とスクリーニング工程とのみを行う場合においても、グレーティングの書き込みと、そのグレーティングが書き込まれたファイバグレーティングのスクリーニング試験との双方が同じ作製装置を用いて行うことができるようになる。

### 産業上の利用可能性

本発明によれば、伝送特性の悪化を招くことなく容易にグレーティングの書き込みを可能とし得るファイバグレーティング（短周期ファイバグレーティングと長周期ファイバグレーティングの双方）が提供される。また、伝送特性の安定化のみならず温度特性の安定化も達成され、信頼性の高いファイバグレーティングが提供されるため、更に生産性の向上を阻害することなしに伝送特性および機械的強度特性を向上させることが可能となる。

## 請 求 の 範 囲

1. グレーティングが書き込まれたコアと、前記コアを囲むクラッドと、前記クラッドの外周面を被覆する被覆層とを備えたファイバグレーティングであって、

前記被覆層は、紫外線透過型樹脂から形成され、少なくともグレーティング書き込み用の特定波長帯の紫外線を透過し、前記特定波長帯よりも短い波長域または長い波長域の紫外線を吸収して硬化する特性を有しており、

前記グレーティングは、前記特定波長帯の紫外線を前記被覆層の外側から前記コアに対して照射することによって書き込まれたものであることを特徴とするファイバグレーティング。

2. 前記コアには、GeとSnとが共にドーピングされており、前記Geの濃度は、前記ファイバグレーティングに接続される他の光ファイバのコアに含まれるGeの濃度と実質的に同じであるクレーム1に記載のファイバグレーティング。

3. 前記被覆層の外表面を覆う2次被覆層を更に備え、

前記2次被覆層は、負の線膨張係数を有する素材により形成されているクレーム1または2に記載のファイバグレーティング。

4. 前記被覆層は、30  $\mu$ m以上の厚さを有するシングルコート膜から形成されているクレーム1に従属するファイバグレーティング。

5. 前記コアには更にAlがドーピングされているクレーム2に記載のファイバグレーティング。

6. グレーティングが書き込まれるべきコアと、前記コアを囲むクラッドとを備えたガラスファイバ構造を作製する工程と、

前記ガラスファイバ構造の外周面を紫外線透過型樹脂から形成された被覆層で覆う工程と、

紫外線を前記被覆層の外側から前記コアに対して照射することによってグレーティングを前記コアに書き込む工程とを包含するファイバグレーティングの作製方法であって、

前記被覆層は、前記ファイバグレーティングに接続される光ファイバ心線と同等の機械的強度特性を発揮し得るように厚く形成され、

前記紫外線は、固体レーザを用いて得たものであり、その照射エネルギー密度を  $1.5$  から  $4.0 \text{ kJ/cm}^2$  までの範囲内にして前記コアに照射することを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

7. 前記紫外線の波長は  $250 \text{ nm}$  ~  $350 \text{ nm}$  の範囲内にあることを特徴とするクレーム 6 に記載のファイバグレーティング作製方法。

8. 前記被覆層は、シングルコート法によって  $30 \mu\text{m}$  から  $50 \mu\text{m}$  までの範囲内の厚さに形成するクレーム 6 または 7 に記載のファイバグレーティング作製方法。

9. 前記グレーティングの書き込み工程は、

シリンドリカルレンズと、前記シリンドリカルレンズの焦点との間の位置であって、前記シリンドリカルレンズにより前記焦点に向けて集光される紫外線のビームパターンの内部位置に、前記被覆層、クラッドおよびコアの全体が含まれるように配置する工程と、

前記シリンドリカルレンズを通して前記紫外線を前記コアに照射する工程とを包含することを特徴とするクレーム 6 または 7 に記載のファイバグレーティング作製方法。

。

10. 前記グレーティングの書き込み工程において、前記被覆層の外周面を前記紫外線のビームパターンの外縁に内接させることを特徴とするクレーム6に記載のファイバグレーティングの作製方法。

11. 前記紫外線の照射前に前記コアに水素を充填することを特徴とするクレーム6に記載のファイバグレーティングの作製方法。

12. 前記コアとして、GeおよびSnが共にドーピングされたものを用いることを特徴とするクレーム6に記載のファイバグレーティングの作製方法。

13. ファイバグレーティング作製対象である光ファイバにおけるグレーティングの書き込み予定部位に対しファイバ軸方向への張力を予め印加することによりファイバ軸方向の引っ張りひずみを生じさせる張力印加工程と、

この張力印加工程により張力が印加された状態の光ファイバに対し紫外線を照射することによりファイバ軸方向に所定のグレーティングピッチのグレーティングを前記光ファイバのコアに書き込む照射工程と、

この照射工程の後に前記張力の印加を解放することにより前記コアに書き込まれたグレーティングのグレーティングピッチを短波長側にシフトする張力解放工程とを備えている

ことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

14. 光ファイバとして、コア及びクラッドからなる光ファイバ素線に対し紫外線透過型樹脂により被覆層が形成されてなる光ファイバ心線を用いることを特徴とするクレーム13に記載のファイバグレーティング作製方法。

15. 張力解放工程の後に、光ファイバに対し設定張力を印加することによりグレーティング書き込み部位についてのスクリーニング試験を行うスクリーニング工程を

行うことを特徴とするクレーム 13 に記載のファイバグレーティング作製方法。

16. ファイバグレーティング作製対象である光ファイバに対し紫外線を照射する紫外線照射系と、前記光ファイバに対しファイバ軸方向に張力を印加する張力印加機構とを備えたファイバグレーティング作製装置を用い、

前記紫外線照射系により前記光ファイバに対し紫外線を照射することによりその光ファイバのコアに対しファイバ軸方向にグレーティングを書き込む照射工程と、

この照射工程の後に、前記張力印加機構により前記光ファイバに対し設定張力を印加することによりグレーティング書き込み部位についてのスクリーニング試験を行うスクリーニング工程と

を行うことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

17. ファイバグレーティング作製対象である光ファイバに対し、ファイバ軸方向に所定のグレーティングピッチのグレーティングが前記光ファイバのコアに書き込まれるように紫外線を照射する紫外線照射系と、

この紫外線照射系により紫外線が照射される部位の光ファイバに対しファイバ軸方向の引っ張りひずみが生じるよう張力を一時的に印加する張力印加機構と、  
を備えていることを特徴とするファイバグレーティング作製装置。

18. 張力印加機構は、紫外線照射系により紫外線が照射される部位を挟んでファイバ軸方向に互いに離れた両側位置の光ファイバをそれぞれ固定する一対の固定手段と、

この一対の固定手段の内、少なくとも一方を他方に対しファイバ軸方向に強制的に進退移動させる移動手段と、

を備えていることを特徴とするクレーム 17 に記載のファイバグレーティング作製装置。

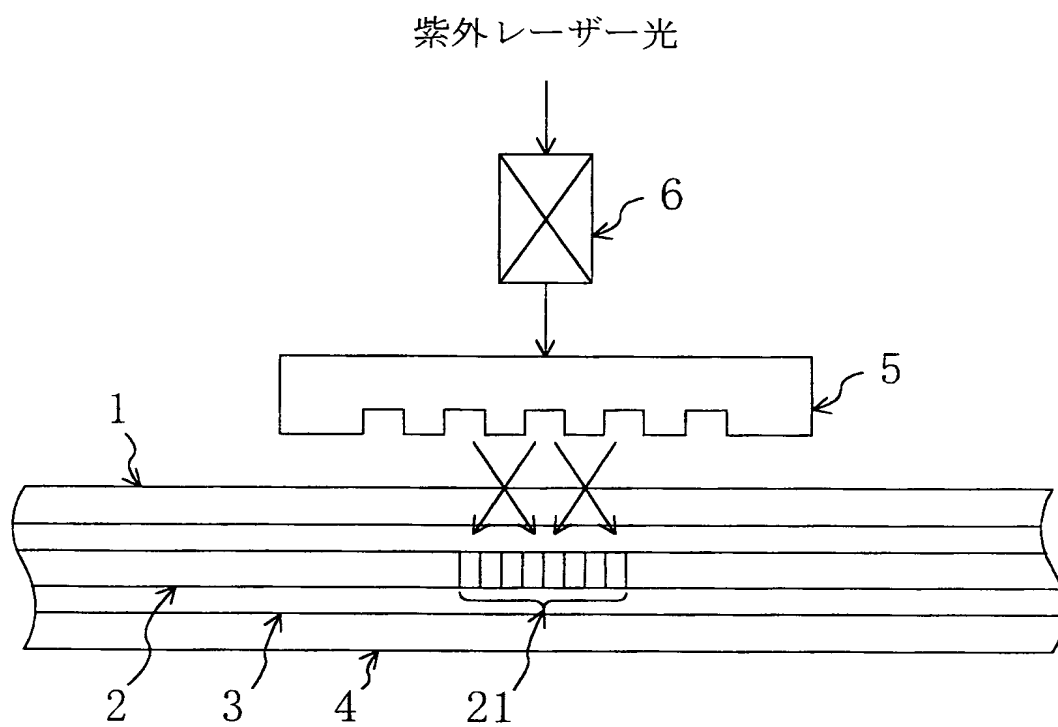
19. 各固定手段は、光ファイバをファイバ軸方向に直交する軸の回りに巻き付けることによりその光ファイバとの間の摩擦抵抗に基づいて前記光ファイバを固定する巻胴であり、かつ、移動手段により移動される側の巻胴がファイバ軸方向の同一位置において前記直交する軸の回りに回転可能に支持され、

前記移動手段は、前記移動される側の巻胴を前記光ファイバが巻き付けられた状態で設定回転量だけ強制回転させるモータにより構成されていることを特徴とするクレーム18に記載のファイバグレーティング作製装置。



1/18

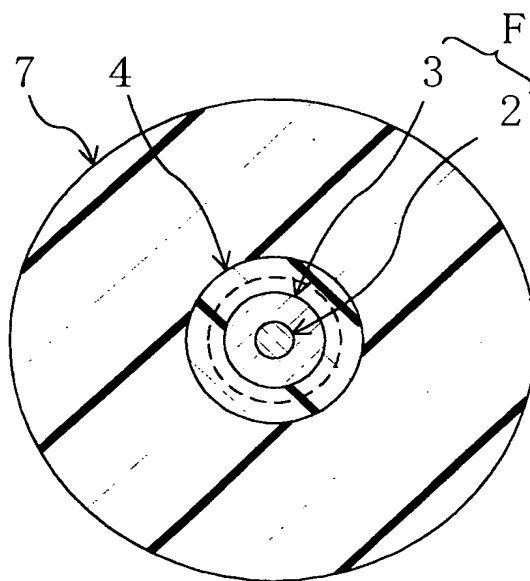
FIG. 1





2/18

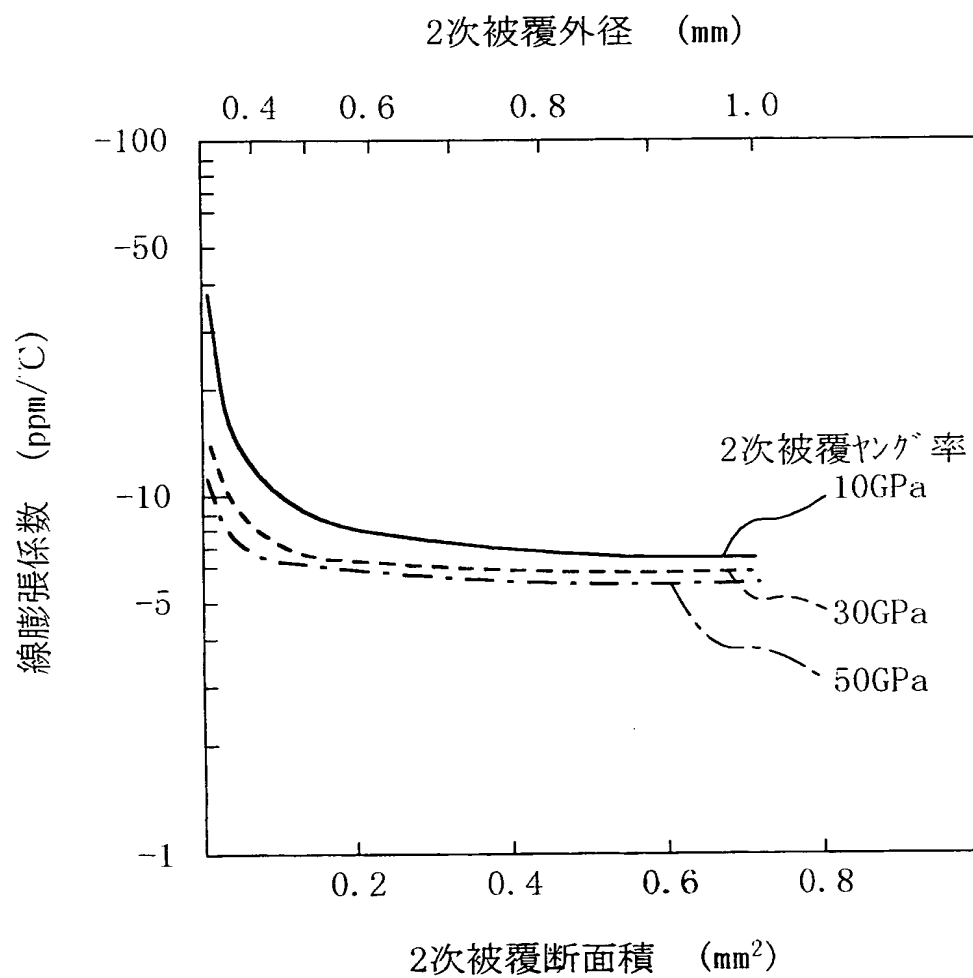
FIG. 2





3/18

FIG. 3





4/18

FIG. 4

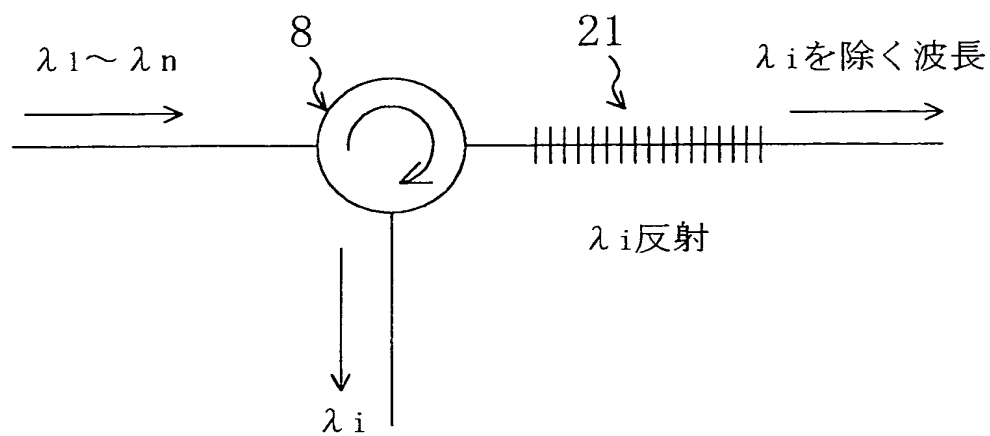


FIG. 5

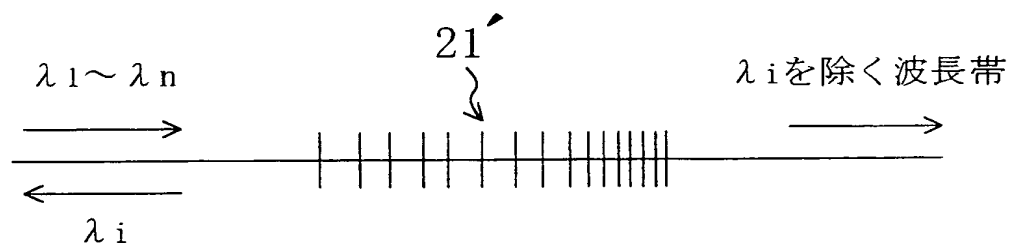
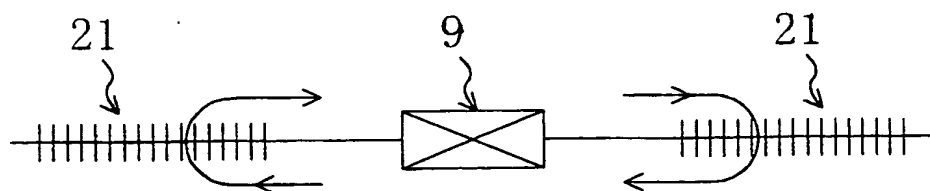


FIG. 6

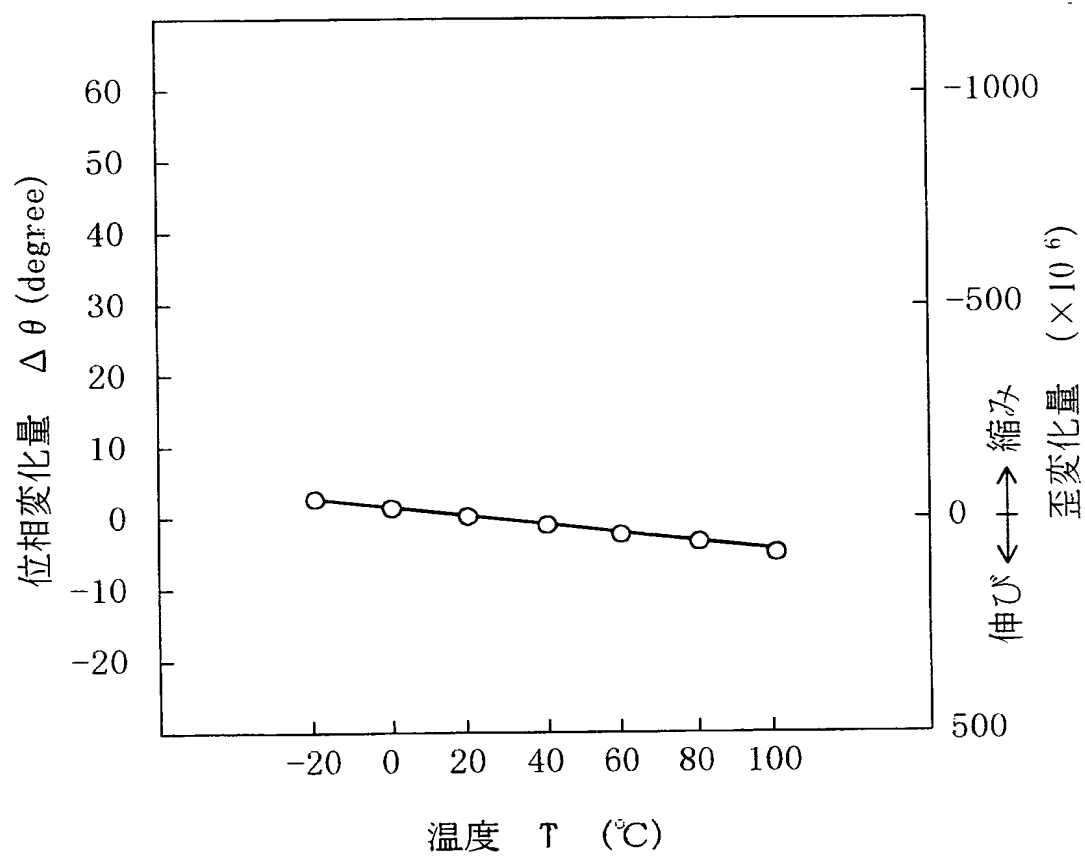






5/18

FIG. 7





6/18

FIG. 8

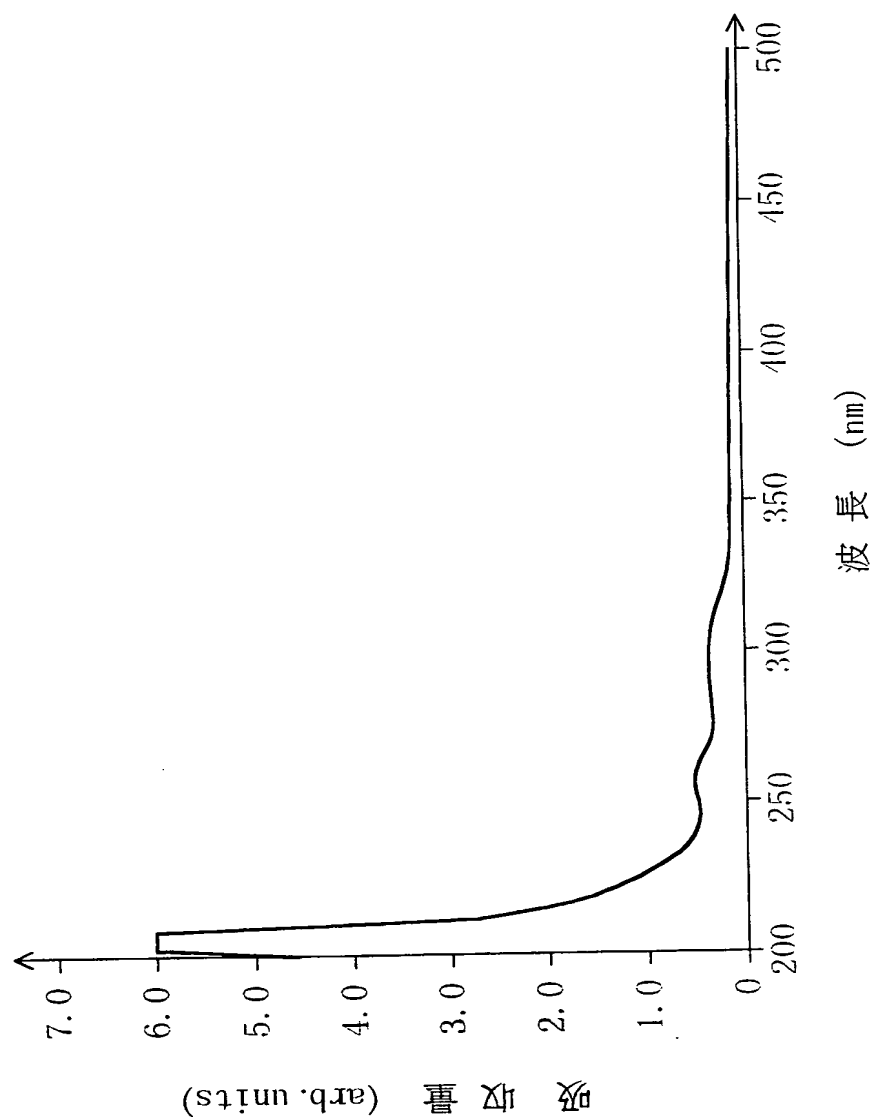
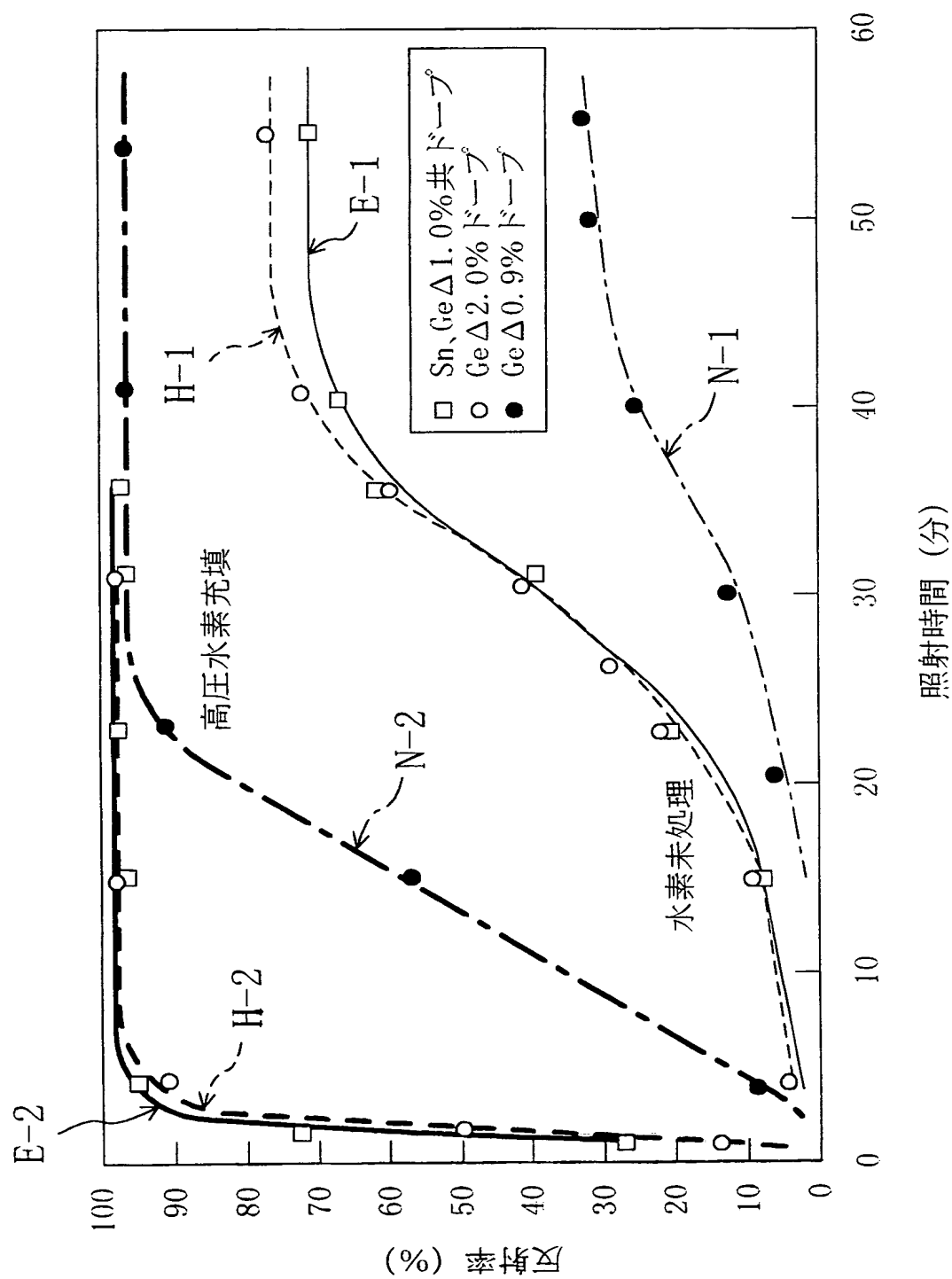




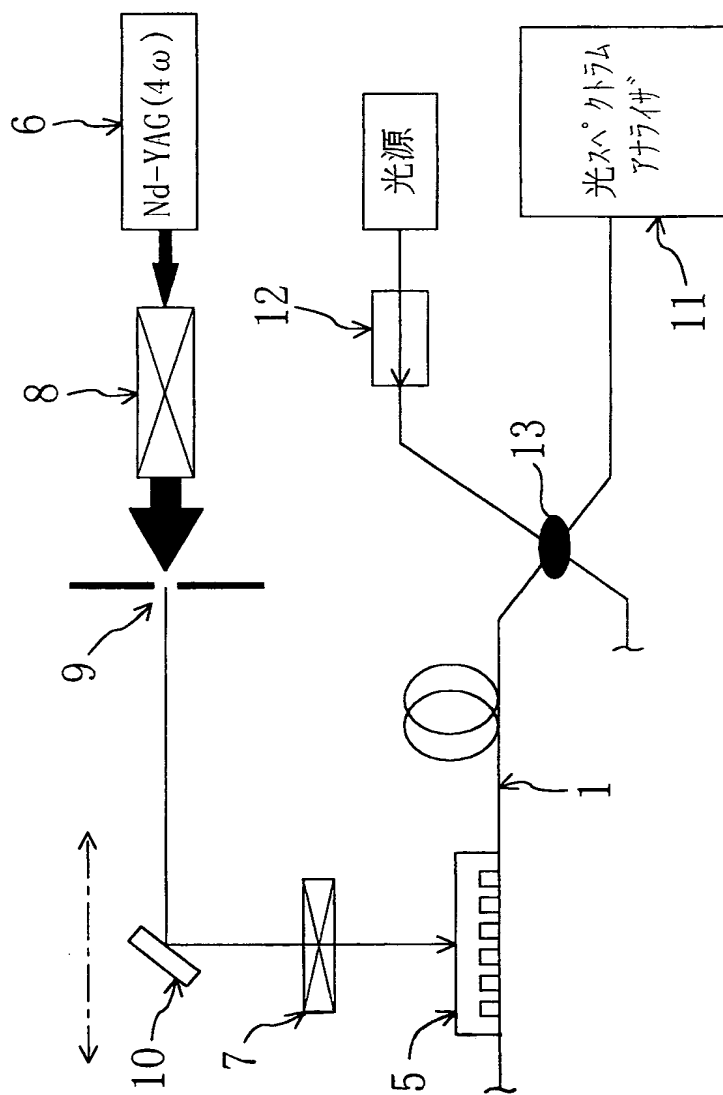
FIG. 9





8/18

FIG. 10

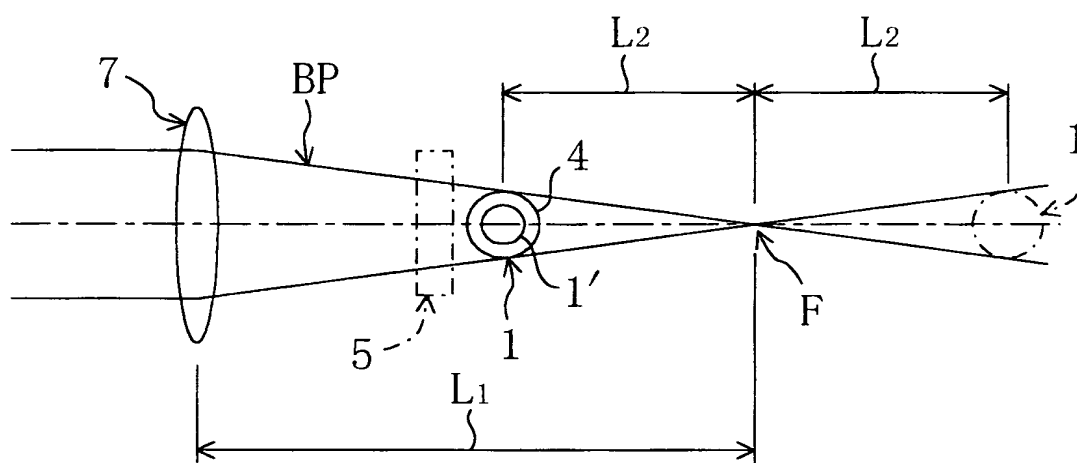






9/18

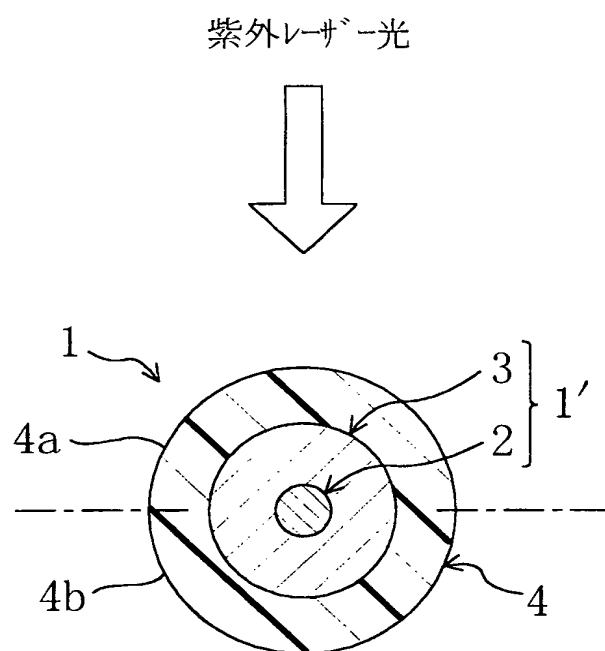
FIG. 11





10/18

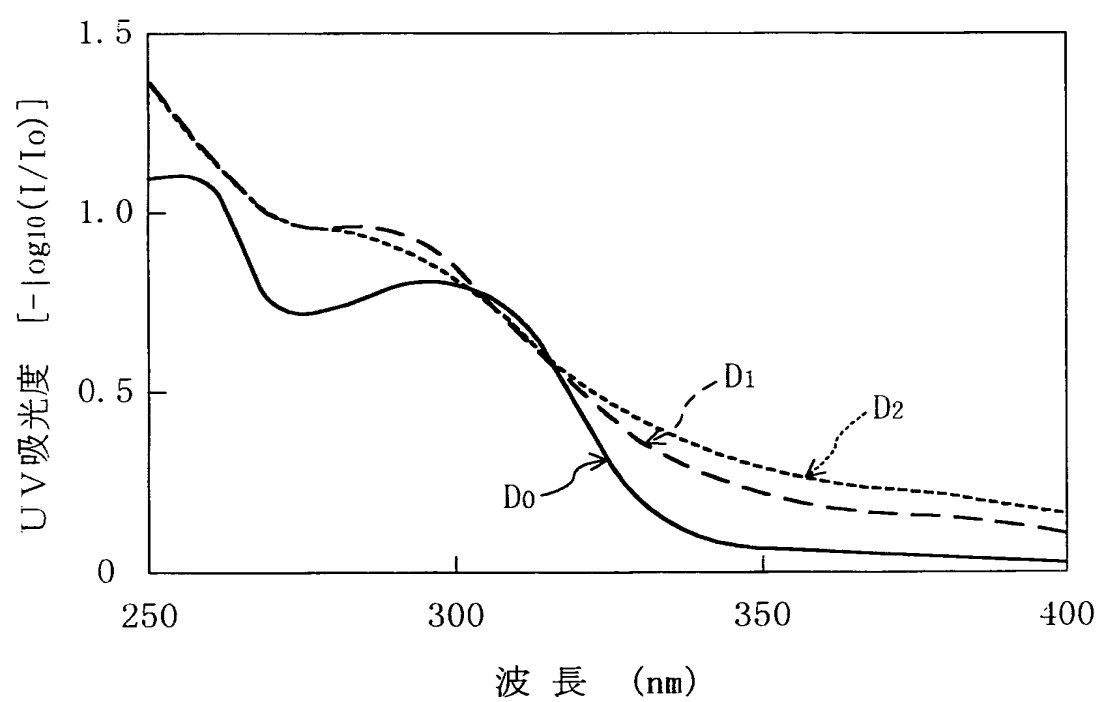
FIG. 12





11/18

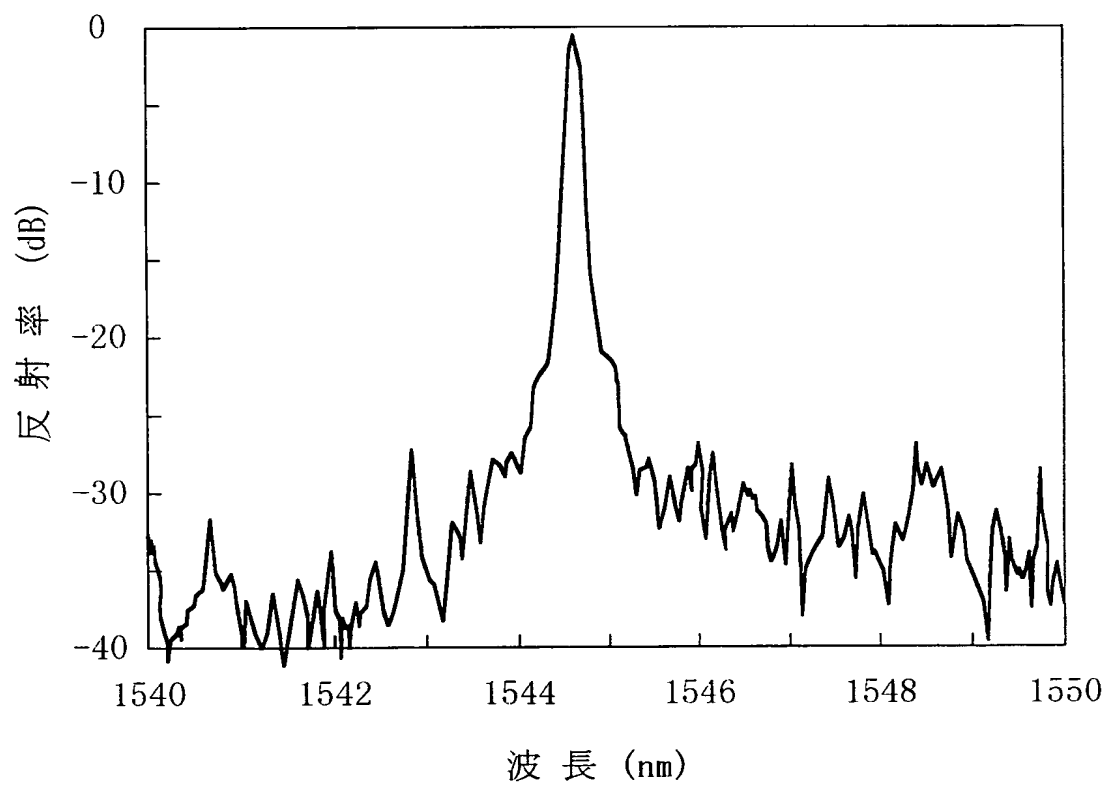
FIG. 13





12/18

FIG. 14

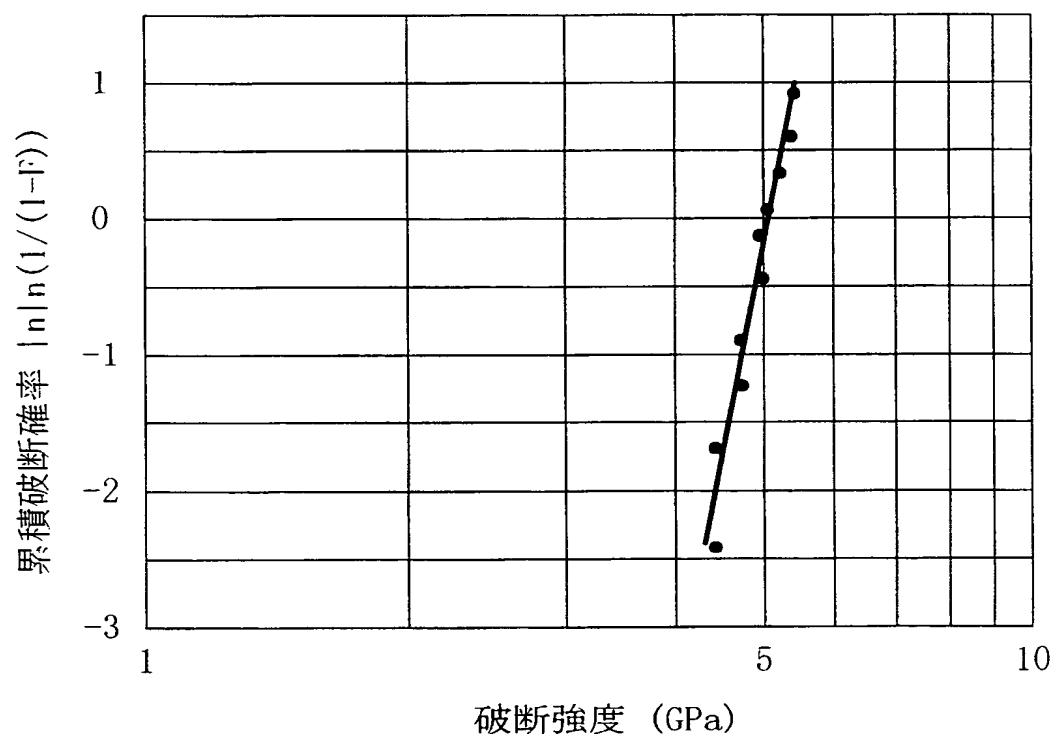






13/18

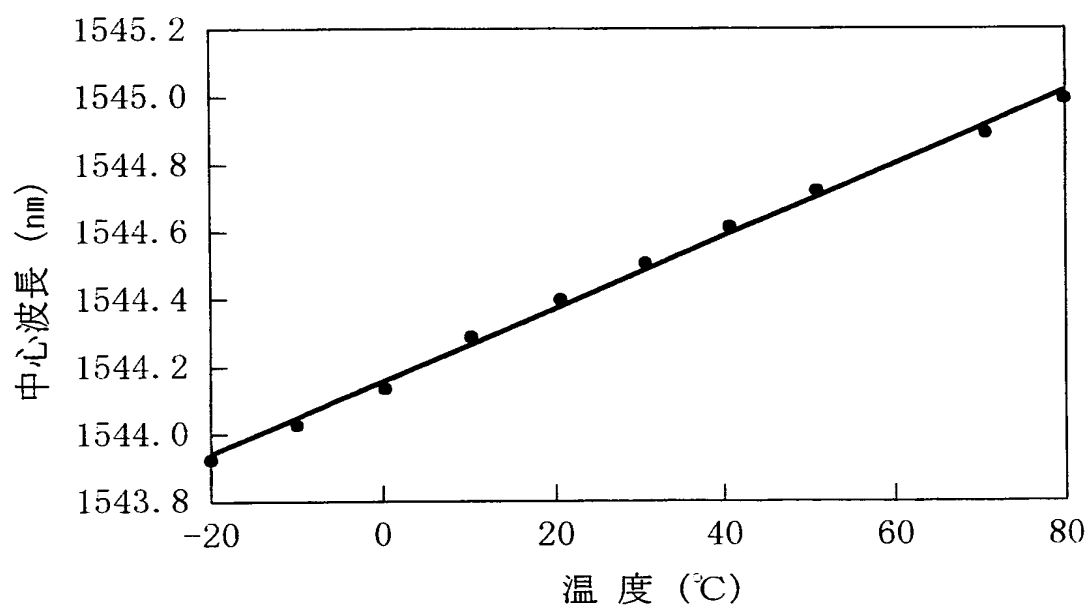
FIG. 15





14/18

FIG. 16





15/18

FIG. 17

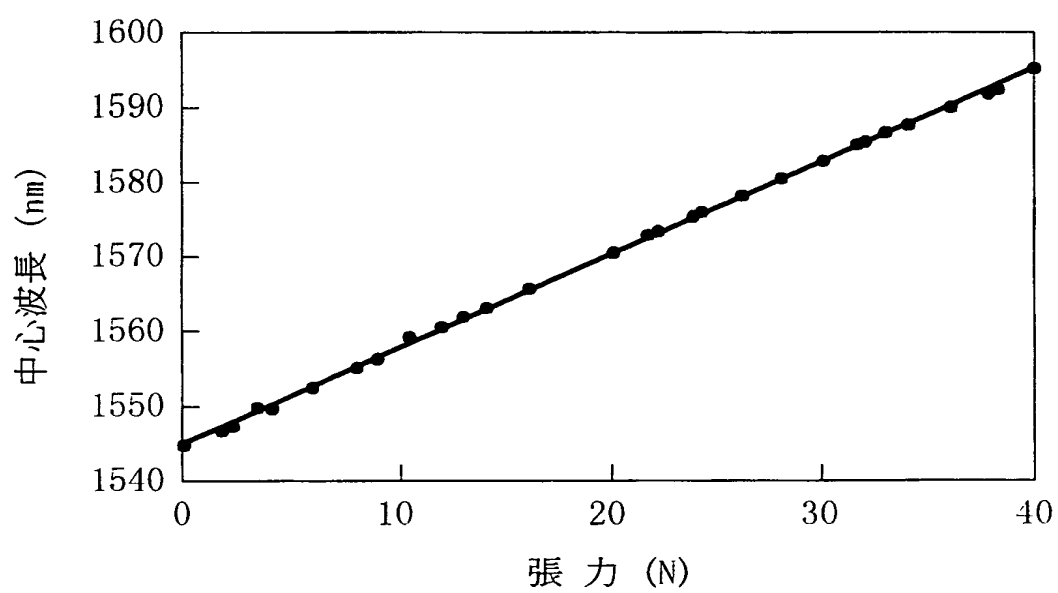




FIG. 18

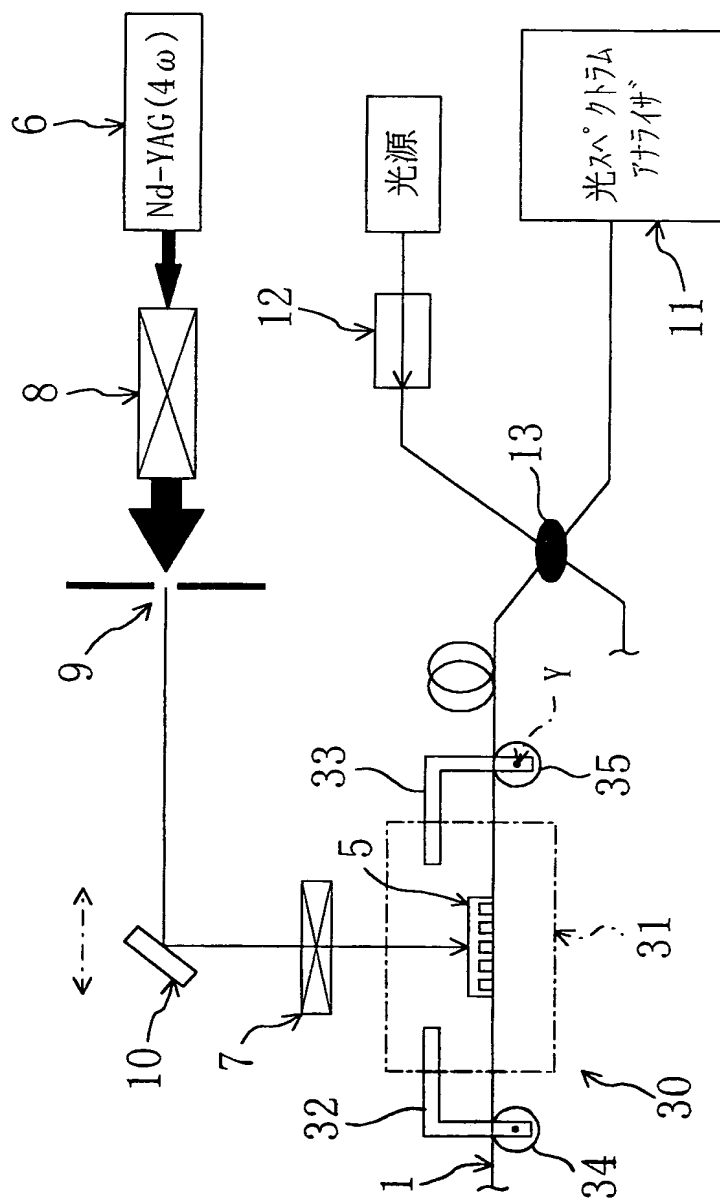
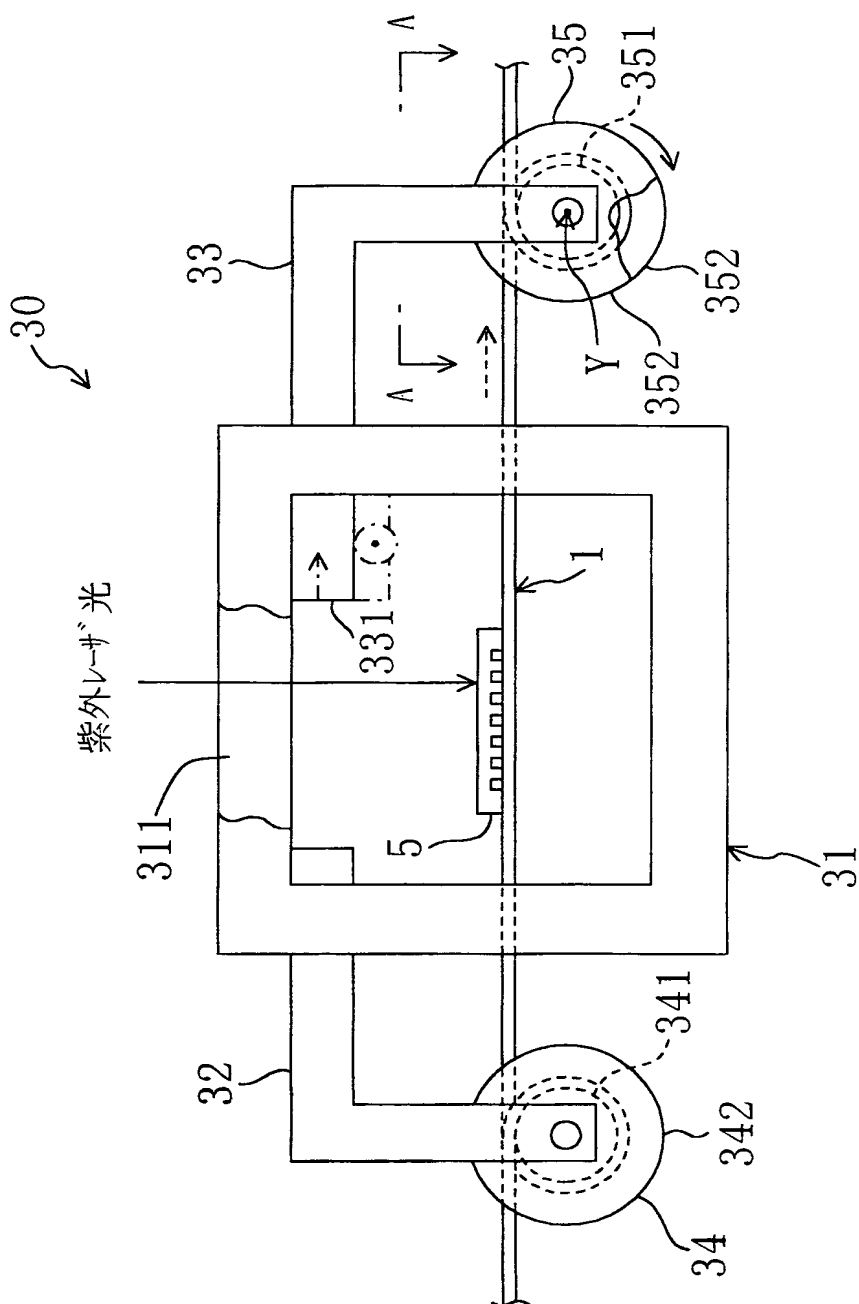






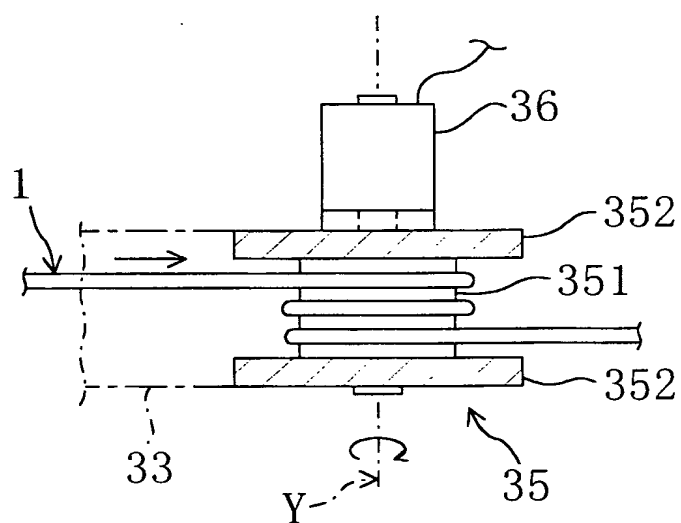
FIG. 19





18/18

FIG. 20





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05311

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>6</sup> G02B6/10, G02B5/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>6</sup> G02B6/10, G02B5/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-1999	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 9-113741, A (AT&T Corp.), 2 May, 1997 (02. 05. 97), Full text ; Figs. 1, 2	1, 3-8, 11, 12, 14 2, 9, 10
A	Full text ; Figs. 1, 2 & EP, 762158, A1 & US, 5620495, A	
Y	JP, 7-230015, A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 29 August, 1995 (29. 08. 95), Par. No. [0018]	12
A	Par. No. [0018] (Family: none)	2
Y	JP, 9-211245, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 August, 1997 (15. 08. 97), Par. No. [0042] (Family: none)	3
Y	JP, 9-288205, A (Fujikura Ltd.), 4 November, 1997 (04. 11. 97), Par. No. [0012] & EP, 805365, A2 & CA, 2202308, A	5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
22 February, 1999 (22. 02. 99)

Date of mailing of the international search report  
9 March, 1999 (09. 03. 99)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05311

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PY	JP, 10-82919, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 31 March, 1998 (31. 03. 98), Full text ; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1, 3-8, 11, 12, 14
Y	JP, 6-501783, A (British Telecommunications Public Limited Company), 24 February, 1994 (24. 02. 94), Full text ; Figs. 1 to 3	13, 14, 17, 18
A	Full text ; Figs. 1 to 3 & WO, 9208999, A1 & EP, 556247, A1 & US, 5384884, A	15, 16, 19
Y	JP, 8-286056, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 1 November, 1996 (01. 11. 96), Full text ; Figs. 1 to 3	13, 14, 17, 18
A	Full text ; Figs. 1 to 3 (Family: none)	15, 16, 19

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>6</sup> G02B6/10, G02B5/18

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>6</sup> G02B6/10, G02B5/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996  
 日本国公開実用新案公報 1971-1999  
 日本国登録実用新案公報 1994-1999  
 日本国実用新案登録公報 1996-1999

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 9-113741, A (エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション) 2. 5月. 1997 (02. 05. 97) 全文, 第1-2図	1, 3-8, 11, 12, 14 2, 9, 10
A	全文, 第1-2図 & EP, 762158, A1 & US, 5620495, A	

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

22. 02. 99

国際調査報告の発送日

09.03.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

服部 秀男

印

2 K

7805

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P, 7-230015, A (古河電気工業株式会社) 29. 8月. 1995 (29. 08. 95) 【0018】 【0018】 (ファミリーなし)	1 2 2
Y	J P, 9-211245, A (住友電気工業株式会社) 15. 8月. 1997 (15. 08. 97) 【0042】 (ファミリーなし)	3
Y	J P, 9-288205, A (株式会社フジクラ) 4. 11月. 1997 (04. 11. 97) 【0012】 & EP, 805365, A2 & CA, 2202308, A	5
PY	J P, 10-82919, A (住友電気工業株式会社) 31. 3月. 1998 (31. 03. 98) 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1, 3-8, 11, 12, 14
Y A	J P, 6-501783, A (ブリテイッシュ・テレコミュニケーションズ・パブリック・リミテッド・カンパニー) 24. 2月. 1994 (24. 02. 94) 全文, 第1-3図 全文, 第1-3図 & WO, 9208999, A1 & EP, 556247, A1 & US, 5384884, A	13, 14, 17, 18 15, 16, 19
Y A	J P, 8-286056, A (住友電気工業株式会社) 1. 11月. 1996 (01. 11. 96) 全文, 第1-3図 全文, 第1-3図 (ファミリーなし)	13, 14, 17, 18 15, 16, 19